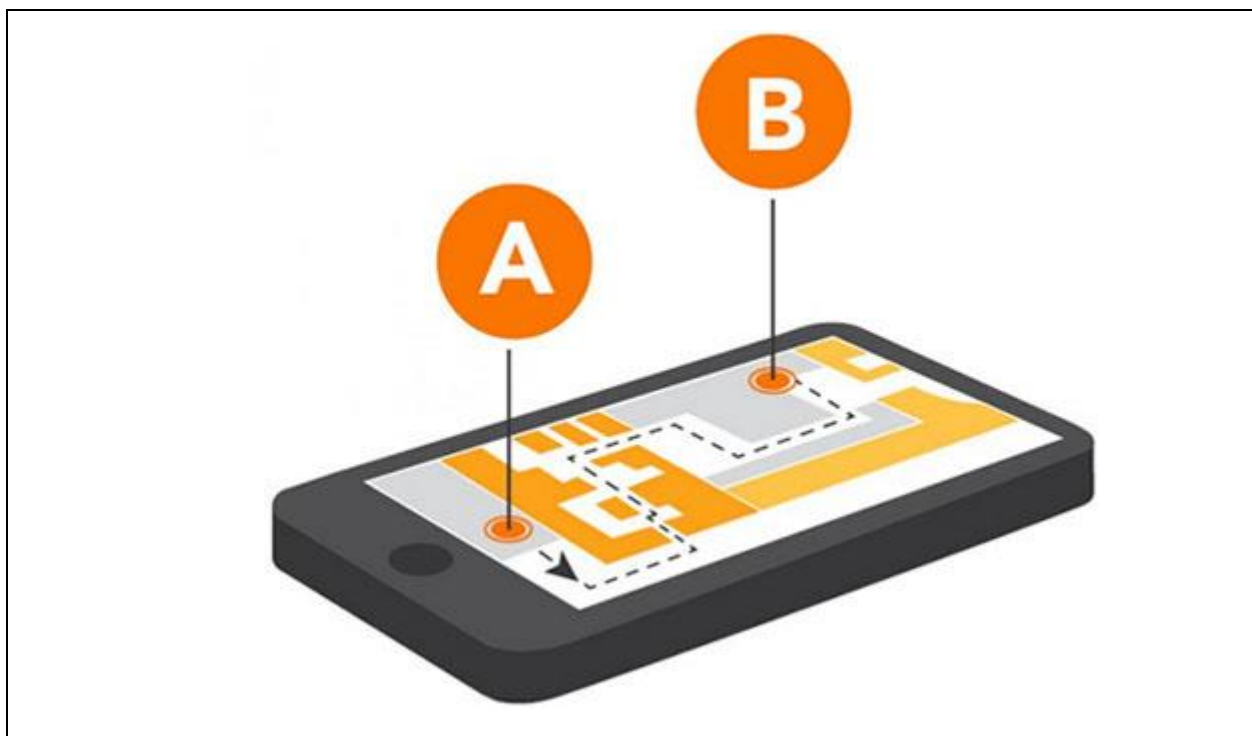


## 656-1 Travail de Bachelor

### Visualisation et cartographie à l'intérieur de bâtiments



Etudiant : Brice Barben

Professeurs : Dr. Dominique Genoud

Antoine Widmer

Déposé le : 25.07.2016

---

## Source de l'illustration de la page de titre

<http://www.oledcomm.com/product-overview>

## Résumé

Avec le développement de la communication sans fil et des smartphones, la localisation en intérieur est de plus en plus demandée. Ce travail consiste à trouver une approche facilitant l'utilisation et la mise en place d'une cartographie puis de la localisation en intérieur grâce à un téléphone mobile. Le but étant de trouver une solution simple et réutilisable en restant dans un budget restreint.

Dans le présent document, nous commencerons par définir la localisation en intérieur ainsi que son fonctionnement avec quelques exemples d'utilisations courantes.

Nous parlerons ensuite de l'état de l'art de la cartographie en intérieur. Puis, nous listerons les systèmes de senseurs pouvant être utilisés en commençant par les systèmes basés sur les signaux comme le Wi-Fi, le Bluetooth, l'ultrason ou l'infrarouge.

Après cela, nous présenterons certaines des méthodes de cartographies. Une petite conclusion permettra d'expliquer les choix faits.

Nous passerons ensuite au prototype et ses environnements de développement où nous relèverons les aspects spécifiques à chaque systèmes. Le premier est destiné à prendre les mesures grâce à un robot IRobot Roomba, le second est le serveur et permet de créer la carte de l'espace intérieur ainsi que d'accueillir les requêtes de positionnement et la dernière sera l'application mobile destinée à l'utilisateur final et permet de se localiser.

Finalement, nous conclurons ce rapport en proposant certaines améliorations au développement actuel ainsi qu'un bilan personnel.

Mots-clés : Localisation, intérieur, fingerprint, Wi-Fi

## **Avant-propos**

Ce travail a été effectué dans le cadre du travail de Bachelor en informatique de gestion à la Haute école spécialisée de Suisse occidentale (HES-SO) Valais-Wallis. Il a été proposé par mon professeur responsable, Monsieur Dominique Genoud en collaboration avec Monsieur Antoine Widmer.

Conformément au guide de présentation et de réalisation des travaux écrits propre à la Haute École de Gestion & Tourisme de la HES-SO Valais-Wallis, ce rapport respecte les normes de mises en forme du manuel de publication de l'American Psychological Association (APA), 6ème édition.

## Remerciements

Je remercie tout particulièrement pour leur aide précieuse les Professeurs Dominique Genoud et Antoine Widmer qui m'ont suivi durant ce travail.

Je souhaite remercier également mon entourage qui m'a soutenu durant ce travail dont mon frère, Loïc, pour ses conseils avisés, Guillaume pour ses corrections. Ainsi que Corine pour la relecture de mon travail.

# TABLE DES MATIÈRES

1.	INTRODUCTION .....	1
2.	LA LOCALISATION EN INTÉRIEUR.....	2
3.	SON FONCTIONNEMENT .....	2
4.	LES PRINCIPALES UTILISATIONS DE LA GEOLOCALISATION INDOOR .....	4
5.	LA SITUATION ACTUELLE .....	5
6.	LES TECHNOLOGIES UTILISÉES .....	14
7.	LES MÉTHODES DE LOCALISATION .....	23
8.	PROTOTYPE .....	30
9.	ENVIRONNEMENT DE DÉVELOPPEMENT .....	31
10.	ANDROID.....	36
11.	SERVEUR.....	37
12.	ROOMBA .....	41
13.	RESULTAT .....	43
14.	CONCLUSION .....	44
15.	CONCLUSION PERSONNELLE .....	47
16.	BIBLIOGRAPHIE .....	48
17.	DÉCLARATION DE L'AUTEUR .....	54

## Liste des tableaux

Tableau 1 Modèle de fonctionnement d'IndoorAtlas.....	6
Tableau 2 Comparaison UWB .....	17
Tableau 3 Comparaison des différents systèmes de positionnement .....	21

## Liste des figures

Figure 1 Représentation de la pénétration du signal.....	1
Figure 2 Prototype Windows .....	1
Figure 3 Représentation d'un système de localisation en intérieur .....	3
Figure 4 Exemple d'utilisation de FIND .....	8
Figure 5 Des statistiques sont disponibles par pièce .....	8
Figure 6 Représentation des mesures prises.....	9
Figure 7 architecture de SpotFi collectant les mesures RSSI.....	15
Figure 8 Prédiction du marché des MEMS jusqu'en 2018.....	22
Figure 9 Classification des catégories des solutions de localisation en intérieur.....	23
Figure 10 Représentation du deux points d'accès et la position estimée.....	24
Figure 11 Représentation trois point d'accès et la position estimée au centre.....	25
Figure 12 Schéma montrant une diffraction du signal.....	27
Figure 13 Schéma montrant le signal subissant une réflexion .....	27
Figure 14 Modèle simplifié du fonctionnement de l'ensemble du prototype .....	30
Figure 15 Le robot IRobot Roomba utilisé pour cartographier .....	33
Figure 16 Raspberry Pi 3 .....	34
Figure 17 GrovePi monté sur le Raspberry Pi 3 et relié au Roomba.....	35
Figure 18 Capture d'écran de l'application Android .....	36
Figure 19 Parcours en ligne droite sans bouclier de champs magnétique .....	38
Figure 20 Schéma représentatif du tour complet du robot .....	39
Figure 21 Tracés du chemin après correction de l'angle.....	40
Figure 22 Fonctionnement de l'axe X de l'accéléromètre.....	41



## Liste des abréviations

BLE	<i>Bluetooth low energy</i>
CLIPS	<i>Camera and Laser based Indoor Positioning System</i> est un système de positionnement optique
GPIO	General Purpose Input/Output (GPIO)
GPS	Global Positioning System
HES-SO	Haut École Spécialisée de Suisse Occidentale
EDI (IDE en anglais)	Environnement de Développement Intégré
NFC	<i>Near Field Communication</i>
MSE	<i>Cisco Mobility Services Engine</i>
RSSI	<i>Received Signal Strength Indication (RSSI)</i> est la puissance en réception du signal. Il peut autant s'agir de signaux Wi-Fi que radio ou GSM par exemple.
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i> est une norme numérique pour la téléphonie mobile
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i> est un réseau sans fil.
WIFI	Est une norme (IEEE 802.11) de réseau sans fil.
SLAM	Simultaneous Localization and Mapping
MC	Mobile Client

## Glossaire

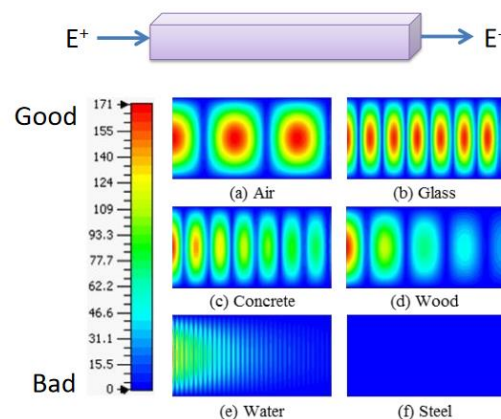
Attowatts	Une unité de mesure de puissance qui est équivalente à $10^{-18}$ Watt. Son symbole est aW.
Beacons	Un Beacon est un capteur Bluetooth de basse consommation permettant d'interagir avec des smartphones, tablettes, etc.
GALILEO	<i>Galileo</i> est un système de positionnement par satellites et d'origine européenne
GLONASS	Système global de navigation satellitaire
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i> est un système de positionnement par satellites développé par les soviétiques.
GPIO	<i>General Purpose Input/Output</i> est un pin d'entrée/sortie pour un usage général utilisé notamment sur le Raspberry Pi.
GrovePi	<i>GrovePi</i> est une carte électronique qui permet de connecté une multitude de senseurs comme un compas, un baromètre ou un accéléromètre.
JSON	JavaScript Object Notation est un format permet de structurer l'information.
Ping	Une requête simple envoyée dans le but de vérifier si un « interlocuteur » existe. Il peut s'agir d'un ordinateur ou d'un routeur par exemple.
Raspberry	The <i>Raspberry P</i> est un petit ordinateur pouvant facilement être utilise pour les projets embarqués.
Roomba	Un robot aspirateur créé par la société iRobot.

## 1. Introduction

Les moyens de localisation sont accessibles à tout le monde. Ils sont utilisés dans de nombreux domaines comme l'agriculture ou les transports, mais permettent également de répondre aux besoins de tout un chacun à travers une utilisation quotidienne.

Différents types de système de positionnement par satellites (GNSS) existent comme GPS, GLONASS, GALILEO ou Beidou. Cependant, ils ne peuvent être utilisés qu'en extérieur. Le signal peut atteindre jusqu'à 100 attowatts. Tandis qu'à l'intérieur, il est réduit de 1 à 10 attowatts. Les paquets de données ne peuvent ainsi pas être décodés (Shahriar Nirjon, 2014).

Figure 1 Représentation de la pénétration du signal



Source: (Shahriar Nirjon, 2014)

Comme nous le voyons sur le schéma ci-dessus, le champ magnétique généré par un signal GPS se propage à travers différents matériaux.

Nous remarquons rapidement que les matériaux composant un bâtiment notamment l'acier et le béton et qu'ils empêchent particulièrement cette propagation. Bien que des recherches tentent de remédier à ce problème comme par exemple Microsoft qui intègre directement une antenne spécifique dans l'appareil permettant une meilleure réception.

Figure 2 Prototype Windows



Source : [research.microsoft.com/en-US/people/liui/coingps-](https://research.microsoft.com/en-US/people/liui/coingps-)

Aujourd'hui, les téléphones portables ne peuvent pas utiliser la fonctionnalité de GPS à l'intérieur d'un bâtiment. Cependant, différentes solutions permettent de résoudre ce problème, nous en découvrirons quelques-unes dans la suite de ce rapport.

## La localisation en intérieur

L'intérêt pour la localisation en intérieur n'a cessé de croître ces dernières années. Différentes entreprises ont cherché à résoudre ce problème de la localisation (López Escobés, 2009) .

La localisation en intérieur peut être définie comme un « ... système de géolocalisation en intérieur permet de trouver la position d'objets ou de personnes dans un espace interne à une structure (bâtiments, maisons...). » (Wikipédia, 2016).

La géolocalisation indoor permet donc de savoir plus ou moins précisément la localisation d'un individu ou d'un objet dans un espace clos. À l'intérieur de celui-ci, les données GPS ne peuvent pas être utilisées dû à la présence d'obstacles entre les satellites et le récepteur comme illustré par (Figure 1).

Dans toutes sortes de situations, il est pourtant nécessaire de connaître la localisation d'un objet ou d'une personne. Cette technologie en intérieur peut donc servir dans des endroits très variés tels qu'un musée, un hôpital ou un aéroport et dans des situations très diverses que nous verrons plus en détail au point 3.

Ce système fonctionne grâce à diverses technologies comme par exemple le Wi-Fi, le Bluetooth ou même la lumière. Pour y arriver, il existe également des solutions très variées.

## 2. Son fonctionnement

Nous pouvons résumer le processus de localisation par : « l'obtention des informations de localisation d'un client mobile (MC) par rapport à un ensemble de positions de

référence dans un espace prédéfini. »<sup>1</sup> (Zahid Farid, 2013). Nous verrons par la suite les différents moyens de se localiser.

La composition basique d'un tel système se compose, de manière générale :

- D'une application mobile permettant grâce à des capteurs de mesurer certains éléments de l'environnement,
- D'un système de communication qui lui va permettre de calculer la position,
- Et d'un provider de contenu permettant de calculer la position et d'envoyer les informations nécessaires à l'utilisateur.

Figure 3 Représentation d'un système de localisation en intérieur



Source: Brice Barben

Par exemple, la méthode de positionnement par « empreintes » est basée sur l'intensité du signal Wi-Fi reçu et du SSID du point d'accès. Elle fonctionne de la manière

---

<sup>1</sup> Texte original: « ...obtaining location information of a mobile client (MC) with respect to a set of reference positions within a predefined space. » (Zahid Farid, 2013)

suivante : l'appareil, souvent une tablette ou un mobile, scanne les points d'accès environnant, puis les envoie au serveur. Cette empreinte est comparée avec sa base de données afin de l'associer avec une localisation (Creurer, s.d.).

### 3. Les principales utilisations de la géolocalisation indoor

Il existe bien entendu, une grande variété de domaines dans lesquels ces technologies peuvent être utilisées. Nous en distinguons trois catégories principales : (Creurer, s.d.)

**La micro-localisation** offre une interaction entre un produit dans un magasin ou une œuvre dans un musée par exemple et l'utilisateur. Il devra être suffisamment proche pour que cette interaction se déclenche.

**Le Geofencing** envoie des informations quand un utilisateur franchit un endroit spécifique. Il est utilisé principalement pour les programmes de fidélisation.

- Twitter est en train de se mettre sur le marché. Il vient d'investir dans la plateforme Swirl, une compagnie destinée à utiliser les smartphones afin d'offrir aux commerçants davantage d'informations comme le comportement des consommateurs. Différentes marques y figurent comme Timberland, Lord & Taylor, Hudson, etc. La solution existante offre cinq Beacons pour 100.- par magasin et par mois. (Connolly, 2015) Cela offre une possibilité au gérant, à travers une plateforme, d'avoir un contrôle total sur les messages notifiés.

**La géolocalisation indoor** a pour but d'aider son utilisateur à se localiser à l'intérieur d'un bâtiment. Elle peut être utilisée pour permettre à quelqu'un de trouver son chemin, un point d'intérêt, une personne ou alors permettre aux commerçants d'analyser les déplacements des clients. En voici deux exemples :

- La plus courante est de pouvoir **trouver son itinéraire**. Depuis 2012 déjà, il existe pour l'aéroport de Paris une aide pour les passagers à s'orienter et à trouver rapidement leur porte d'embarquement, parking, ascenseur, etc. Il est donc possible de pouvoir indiquer à un visiteur où se trouve sa destination et

également de lui indiquer un itinéraire. (Senion, s.d.) Il va également pouvoir recevoir des notifications par exemple en passant devant une boutique pour avoir une promotion ou un rappel pour son vol.

- Une autre utilisation proposée par l'entreprise Cisco permet par le biais de son service MSE de créer **une cartographie des flux des personnes** sur un site en temps réel grâce aux données de connexions Wi-Fi de leurs smartphones. (Cisco, 2016)

## 4. La situation actuelle

Le tableau récapitulatif des différentes entreprises existantes (Voir annexe 2) montre un grand nombre de solutions utilisant diverses technologies afin de se repérer à l'intérieur d'un bâtiment aujourd'hui. Apple, eBay, Google et d'autres encore ont fait le choix de se lancer dans la localisation en intérieur en 2013, ayant pour but d'acquérir un marché de 4 milliards en 2018 (fiercemobility, 2013). ABI Research, une société de renseignements sur le marché de la technologie, estime même, très récemment, un marché de 10 milliards pour 2020 (ABI Research, 2015). Ce marché serait principalement occupé par les Beacons et la publicité. Des compagnies comme Facebook et Groupon ont déjà investi et testent leur propres Beacons. Il s'agit toutefois pour les autres concurrents d'un moyen de vérifier le marché potentiel (Connolly, 2015).

Certaines entreprises ont voulu se démarquer des autres en innovant comme par exemple : ByteLight utilise la lumière pour la localisation (AcuityBrands, 2016) ou SenseWhere l'algorithme Crowdsourcing et cross-références à travers l'appareil de l'utilisateur qui ne nécessite pas d'avoir collecté de données lors de la mise en place du système de localisation (sensewhere, 2016). Il a la capacité d'apprendre par lui-même, mais demande cependant un premier temps d'apprentissage.

### 1.1 Le modèle principal de fonctionnement

Selon Abiresearch, le business model peut varier, mais en général ces compagnies travaillent en partenariat avec des agences de publicité afin de déployer le réseau. La

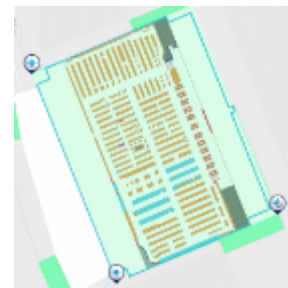
compagnie est d'accord d'administrer et maintenir le réseau et dans la plupart des cas d'attirer les marques mondiales. En échange, ils créent une plateforme sur laquelle les chaînes peuvent faire de la publicité et établir un programme de récompense et ils peuvent accepter un modèle de revenu partagé avec les détaillants (Connolly, 2015).

Quant à l'utilisation, le processus le plus courant utilisé par les entreprises s'approche de l'exemple suivant. Il est repris d'IndoorAtlas, une entreprise utilisant la technologie géomagnétique pour se localiser.

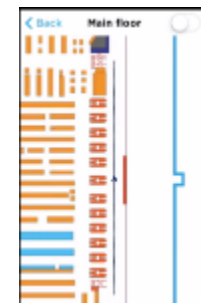
Tableau 1 Modèle de fonctionnement d'IndoorAtlas



- 1) Le plan du bâtiment doit être importé ou créé.  
Le processus consiste à ajouter les étages, les chemins, les pièces, etc.



- 2) Les données sont collectées sur le terrain en parcourant le bâtiment grâce à l'application. Cela cartographie la force du signal. Plus le trajet est lent, plus les données seront de qualité.



- 3) Créer l'application en utilisant l'API du serveur proposé par le fournisseur.



Source : <https://developer.indooratlas.com/dashboard>



## 1.2 Quelques entreprises existantes

Le tableau récapitulatif en annexe des entreprises existantes démontre bien qu'il existe un nombre important d'entreprises et dans des domaines très variés. Au cours des recherches effectuées et de la mise à jour du document, un certain nombre d'entre elles avaient disparu, ce qui démontre bien une certaine concurrence dans ce domaine. Ce tableau a été créé avec le maximum d'informations pouvant être trouvé. Cependant, il est possible que certains renseignements soient manquants ou que des changements aient été effectués étant donné que les entreprises s'adaptent rapidement et ne dévoile pas toutes leurs informations.

La plupart de ces solutions sont payantes. Il est cependant difficile d'obtenir un prix fixe pour chacun. L'entreprise Accuware, demande un prix mensuel de 20 dollars par point d'accès. Les diverses solutions proposent pour la plupart des bornes Wi-Fi propriétaires payantes pour la localisation. Quelques-unes sont gratuites comme Google ou Redpin qui sera expliqué plus en détail au point suivant.

L'utilisateur doit souvent réaliser une partie du travail dans le but d'avoir une solution fonctionnelle. Il peut s'agir soit d'importer une carte dans le logiciel, de définir le réseau de point d'accès, les chemins parcourus par les utilisateurs ou alors très souvent de devoir soi-même balayer la zone à pied dans le but d'obtenir les empreintes Wi-Fi.

Afin de se faire une idée du fonctionnement de ces solutions, trois d'entre elles sont expliquées plus en détails :

### 1.2.1 Indoor Atlas

La startup Indoor Atlas fonctionne en analysant le champ magnétique à l'intérieur de bâtiment. La structure de celle-ci crée des distorsions du champ magnétique. Une fois enregistrées, les personnes peuvent se repérer grâce au magnétomètre présent sur leur téléphone. Cependant, pour créer cette carte, le développeur doit, tout d'abord, parcourir le bâtiment. Il pourra ensuite créer une application qui communique avec le serveur Indoor Atlas.

### 1.2.2 FIND

FIND est un Framework de positionnement en intérieur open source pour la plupart des appareils possédant le Wi-Fi. Il a été créé autant pour les particuliers au sein d'une maison que dans un bâtiment plus important comme une école. Cet outil gratuit offre un serveur et un client. FIND est supporté par OS X, Windows et Linux pour le serveur et du côté client, il est possible d'utiliser n'importe quel ordinateur, smartphone ou même un Raspberry Pi.

L'installation ne demande que peu de temps. Après avoir téléchargé le logiciel, il est nécessaire d'installer le langage de programmation Go. Une aide existe sur le site internet ([www.internalpositioning.com](http://www.internalpositioning.com)). Puis, il suffit de la lancer à partir de la ligne de commande. La suite se fait alors à travers une ligne de commande où l'on configure le groupe (il sert à séparer les données) dans lequel les empreintes vont appartenir, puis la localisation de celles-ci. Comme le démontre le schéma ci-dessous.

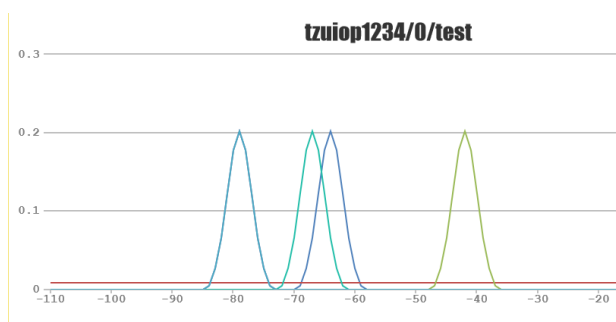
Figure 4 Exemple d'utilisation de FIND

```
pi@dex:~/Desktop/IndoorLocalisation $ sudo ./fingerprint -e
false
Enter group: tzuiop1234
Instead of typing next time, add '-g tzuiop1234'
Enter location: test
Instead of typing next time, add '-l test'
```

Source : Brice Barben

Une interface Web est également disponible afin de visualiser les statistiques des empreintes. Un serveur de test existe par ailleurs ([ml.internalpositioning.com](http://ml.internalpositioning.com))

Figure 5 Des statistiques sont disponibles par pièce



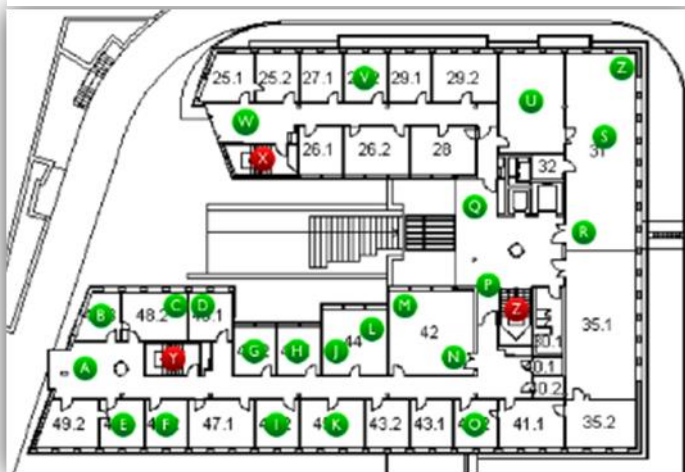
Source : Brice barben

permettant de tester le service. Cependant, comme nous pouvons le voir sur la figure ci-dessus, les empreintes se rapportent uniquement à la pièce en question. De plus, il faut que quelqu'un le fasse manuellement pour chaque pièce ce qui peut prendre passablement de temps.

### 1.2.3 RedPin

RedPin, un système également open source, utilise la méthode « fingerprint » que nous verrons plus en détail, qui offre le niveau de précision d'une pièce. Aucune coordonnée n'est donnée, seulement des identifiants comme le nom d'une pièce. (Redpin, s.d.) Il n'y a aucune phase nécessitant des données d'apprentissage pouvant prendre beaucoup de temps. Au lieu de cela, il se base sur les enregistrements de la position faite par les utilisateurs eux-mêmes, la figure ci-dessous nous le fait remarquer. (Bolliger, 2008)

Figure 6 Représentation des mesures prises



Source: (Bolliger, 2008)

Étant donné que Redpin ne fait aucune différence entre une utilisation normale et la phase d'apprentissage, il permet ainsi d'être adapté facilement au changement d'environnement. En utilisant le processus « Interval Labeling », le logiciel prend plusieurs mesures consécutives ajoutées aux mêmes empreintes (Philipp Bolliger, 2009). RedPin utilise les algorithmes « k-nearest neighbors » (kNN) pour les petites mesures et « support vector machine » (SVM) pour les plus grandes mesures (Bolliger, 2008).

Redpin propose un serveur disponible sur leur site, (Reppin.org). Après l'installation de l'application mobile, le logiciel fonctionne directement en mesurant le RSS des antennes GSM, Wi-Fi et l'ID des appareils Bluetooth non portables. Ces informations sont ensuite envoyées au serveur qui va essayer de les localiser en tenant compte de toutes ces informations. Si une localisation est trouvée, le plan s'affiche avec un point rouge

indiquant la position. Dans le cas où la position n’a pas pu être déterminée, par exemple si elle n’a pas encore été enregistrée, la dernière position sera affichée. RedPin continuera à prendre alors des mesures et de les comparer avec les trois dernières en essayant d’obtenir un état stable. Il tentera à nouveau de localiser l’appareil ou de demander la position sur le plan pour l’enregistrer. Un utilisateur pourra également modifier ces points en cas d’erreur (Bolliger, 2008). Les données sont enregistrées avec une estampille temporelle afin de pouvoir s’adapter aux modifications de l’environnement.

Le point positif de ce système est qu’il ne nécessite pas de phase d’apprentissage, cependant les utilisateurs doivent tout de même entrer par eux-mêmes leur position et cette phase peut être longue avant d’obtenir une cartographie fiable.

### **1.3 Résultat des projets existants**

Il existe un nombre important de modèle d’entreprises vendant leurs services à travers une technologie propriétaire et payante. Au contraire, nous allons nous concentrer sur les solutions mettant à disposition gratuitement leur produit en gardant toutefois les aspects positifs de chacun. Voici les aspects principaux pouvant être mis en avant :

#### **1.3.1 Coûts**

Tout d’abord, le coût d’une telle infrastructure lors de la mise en place ou de la maintenance est élevé. La plupart des systèmes commerciaux nécessite des composants spécifiques. De plus, il n’est pas toujours possible d’utiliser les téléphones portables déjà à disposition (Philipp, 2008). Il n’existe que très peu de solutions gratuites.

#### **1.3.2 Temps**

Il est souvent nécessaire de réaliser une phase dans laquelle l’utilisateur doit parcourir par lui-même la zone à cartographier afin d’obtenir les premières données. Afin de réduire cet effort prenant du temps, le robot offrirait une solution à cela.

Des systèmes académiques sont disponibles publiquement comme Place Lab cependant ils peuvent être difficile à configurer et mettre en place. Il requiert des données d'entraînement. Cette phase prend beaucoup de temps. Plus les données sont précises, plus les empreintes appelées « fingerprints » seront de qualité (placelab, 2016).

### 1.3.3 Qualité

La qualité des données est un point important. Cependant les solutions les plus précises (40 cm environ) nécessitent un hardware spécifique (wang, 2015). Sachin Katti, un professeur à l'université de Stanford déclare : « utiliser les infrastructures Wi-Fi existantes peut généralement localiser un appareil avec une précision de quelques mètres, parfois moins » <sup>2</sup>(wang, 2015)

Ces données d'apprentissages doivent être réalisées à chaque fois qu'un environnement est modifié, par exemple lors du déplacement d'un point d'accès. De plus, afin d'obtenir des données de qualité, il faut obtenir un signal stable. Le signal Wi-Fi peut varier jusqu'à 50% en seulement une douzaine de secondes. Il suffit par exemple qu'une personne soit devant la réception du signal pour modifier la réception. Le corps humain absorbe les radiations électromagnétiques particulièrement bien. De plus, dans une pièce ou le nombre de personne change fréquemment, une précision de 2 mètres peut être réalisée. (Philipp, 2008) Cependant, selon une enquête menée par l'EPFZ, une telle précision suffit afin de déterminer l'emplacement de l'utilisateur dans une pièce.

Le crowdsourcing qui sera vu plus en détail au point 6.2.5, permettant de se passer de la phase cartographie, pourrait être une solution à ce problème, mais la qualité des données n'est pas assurée étant donné que l'utilisateur doit rentrer sa position. Et bien entendu qu'il demande un certain temps avant de pouvoir être opérationnel, ce qui n'est pas idéal. Une combinaison entre le crowdsourcing et la méthode de fingerprint pourrait être envisagée afin de réduire cet effort.

---

<sup>2</sup> Texte original: using existing Wi-Fi equipment can typically locate a device only to within a few meters or sometimes even less accurately.

#### 1.3.4 Autres

Il est important de noter qu'un nombre important d'entre elles ont un tableau de bord. Ce qui paraît très pratique pour gérer l'application. Une majorité propose également une API afin de communiquer avec les différents supports que ce soit smartphones, web ou autres.

Afin de gagner du temps et de rendre le projet disponible plus facilement, il est de rigueur d'utiliser la technologie déjà existante, mais également d'être modulable en fonction des besoins comme nous pouvons l'observer pour les différentes entreprises existantes.

De par ces observations et suivant le cahier des charges, nous allons à présent nous pencher sur les critères selon lesquels le projet devrait être développé.

#### 1.4 Critères de développement

En prenant compte des différents avantages des différentes solutions, différentes caractéristiques peuvent en être tirées afin de réaliser une solution pertinente : (Zahid Farid, 2013)

- **Universel** : Le système doit être capable de localiser n'importe quel appareil avec les fonctionnalités courantes sans avoir à rajouter un module. Les capteurs les plus courants sur un smartphone sont par exemple : accéléromètre, gyroscope, caméras, Bluetooth, etc.
- **Précision** : Celle du système est importante. Cette mesure peut être définie comme une erreur de distance entre la localisation estimée et la localisation réelle du mobile. Idéalement, une précision devrait atteindre de 30 à 50 cm dans un bureau.
- **Réactivité** : Le temps de réponse pour l'estimation de la localisation doit être rapide. L'application ne sera pas autant utile si la position donnée a 10 secondes de retard par exemple.

- **Adaptabilité** : L'environnement dans lequel se situe le système peut varier. Il est donc important que le système puisse s'adapter à cela et qu'il ne soit pas nécessaire de calibrer à nouveau.
- **Évolutivité** : Cette propriété est essentielle étant donné que l'environnement dans lequel est installé le système va certainement être modifié et donc le système devra s'adapter à ces changements.
- **Coût** : Le coût d'un tel système est aujourd'hui souvent cher. Il peut rapidement augmenter en investissant dans une infrastructure supplémentaire, d'avantage d'énergie, une installation et maintenance tout au long du développement.
- **Complexité** : Ce problème revient régulièrement car les algorithmes utilisés pour estimer la localisation sont confrontés aux performances. Il faut choisir entre la complexité du système et la précision affectant le coût total du système.

## 5. Les technologies utilisées

Il existe un grand nombre de possibilités de se repérer grâce à diverses technologies. Dans la partie qui suit, nous allons voir une partie de ces dernières, en passant de la communication à courte distance à la longue distance. Nous définirons par la suite lesquelles pourront être utilisées.

### 1.5 Cellulaire

Un certain nombre de système ont décidés d'utiliser le réseau cellulaire (GSM/CDMA) pour estimer la localisation des téléphones à l'extérieur. Cependant la précision de cette méthode qui utilise l'identité de l'antenne (cell-ID) ou E-OTD (enhanced observed time difference) est généralement basse, entre 50 et 200 mètres. Généralement, la précision est plus grande dans des endroits densément couverts comme dans une ville par exemple. Le positionnement à l'intérieur est possible si le bâtiment est couvert par plusieurs stations ou alors une station possédant un signal fort (RSS). (Aboelmagd Noureldin, 2012)

L'idée de réaliser un tel système est d'utiliser les empreintes de la force des signaux GSM. L'empreinte inclue les six cellules GSM les plus fortes et lit plus de 29 canaux GSM supplémentaire. La plupart étant suffisamment importante pour être détectée mais trop faible pour être utilisée pour une communication. (Veljo Otsason)

Le réseau cellulaire pourrait donc être une solution viable pour notre projet, toutefois, étant donné que la précision est basse, cette technologie ne sera pas utilisée.

### 1.6 Fréquences radios

Le principal avantage des radios fréquences est la possibilité de traverser les murs. Il est donc possible de couvrir une plus large surface sans avoir besoin d'investir dans davantage d'hardware. Les signaux FM sont également peu affectés par la météo et aux conditions du terrain, tels que les murs, bois et le feuillage des arbres, contrairement au

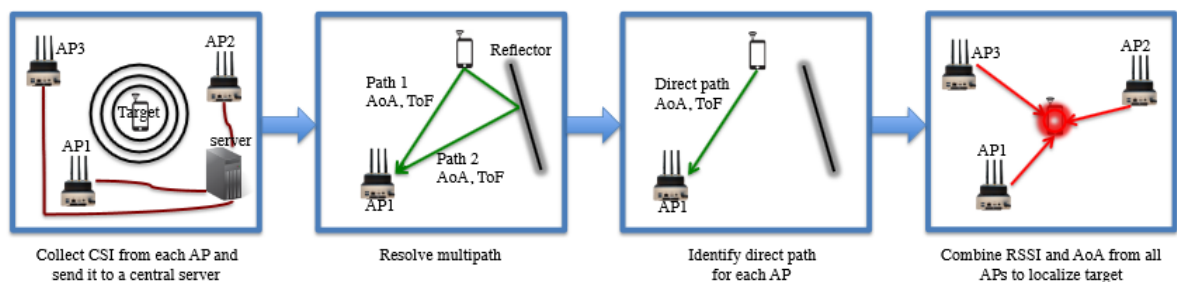


Wi-Fi et au GSM. (Andrei Popleteev, 2012). Il existe cependant moins de téléphones composés d'un module radio.

## 1.7 WLAN

La technologie de position WLAN est notamment basée sur la force du signal reçu ainsi que sur la méthode d'empreinte, appelée « fingerprint ». Une empreinte est constituée du RSS, du SSID du point d'accès et de l'adresse MAC du routeur. Il n'est pas nécessaire de se connecter au réseau. Un scan passif est suffisant pour déterminer la force du signal ce qui nécessite peu d'énergie. (Creurer, s.d.) Voici un exemple d'utilisation du Wi-Fi afin de se localiser dans le schéma ci-dessous. On détermine le meilleur signal en éliminant les signaux réfléchis.

Figure 7 architecture de SpotFi collectant les mesures RSSI



( brian wang , 2015)

Le standard du réseau WLAN (Wireless Local Area Network) opérant dans les 2.4 GHz ou 5GHz a une portée entre 50 et 100 mètres environ, cela dépend de la norme et du débit. (commentcamarche, 2016) Par conséquent, il paraît donc logique d'utiliser les infrastructures existantes pour la localisation en intérieur. En ajoutant un serveur de localisation la précision en moyenne d'un positionnement WLAN utilisant RSS est approximativement 3 à 30 mètre avec un taux de rafraîchissement de quelques secondes. (M, International journal of engineering research and applications, 2013)

Le WLAN étant couramment utilisé est un bon moyen de se localiser en intérieur, de plus sa précision est suffisante et couramment utilisé pour se localiser. Il est donc un bon candidat.

## 1.8 Les Beacons Bluetooth

Les Beacons utilisent la technologie Bluetooth Low Energy (BLE). Son premier avantage est que cette technologie utilise environ 10 fois moins de puissance que sa version précédente. Lorsqu'un smartphone est proche de celui-ci, il est possible de transmettre de simples informations comme son ID ou son intensité. Il peut donc être facilement utilisé pour de la localisation par exemple. (Creurer, s.d.) (López Escobés, 2009)

Son rayon d'action est toutefois restreint (70 mètres). Il peut être agrandi en augmentant la puissance d'émission, mais sa durée de vie sera faible (environ 1 à 3 mois en fonction de la batterie). Un autre point négatif est qu'il est nécessaire d'avoir le Bluetooth activé et l'application lancée. Il existe également plusieurs problèmes de sécurité liés à ces modules. Les informations échangées entre le serveur et le senseur ne sont pas cryptées et des attaques Bluejacking sont possibles. (Pablo, 2009) (Connolly, Analysis: Twitter's investment in SWIRL, 2015)

Plusieurs utilisations peuvent en découler comme détecter la présence d'un magasin. Il a une plus grande portée que le NFC (Voir chapitre 4.13) (10 centimètres) puisqu'il s'étend jusqu'à 70 mètres. Il économise la batterie du récepteur, mais nécessite une connexion internet pour lier l'ID à une information.

Les Beacons sont donc un bon moyen de se localiser mais nécessitent un investissement et ne sont pas totalement garanties d'être sûrs. Ils ne seront donc pas utilisés.

### 1.8.1 UWB

Cette nouvelle technologie a certaines différences avec les autres plus traditionnelles. Il ne requiert pas l'utilisation d'un système de communication, mais fonctionne grâce à l'envoi et la réception d'une pulsation d'une nano seconde ou moins pour transmettre des données. UWB peut donc être utilisé pour une localisation précise en intérieur.

UWB, en comparaison avec d'autres technologies, a de nombreux avantages. Il peut transmettre une grande quantité d'informations, mais a une portée très petite. Il est très peu gourmand en énergie et a un faible coût et une faible probabilité d'interception de détection. Il est également résistant au multi-trajet qui est la réflexion de certains signaux.

Toutefois, il a un manque de standard et se développe assez lentement. (M, A Comparative Analysis on indoor positioning Techniques and Systems, 2016)

Par exemple, le système commercial UbiSense permet d'obtenir une résolution de 15 cm (UbiSense, 2016). En comparaison avec les différentes technologies voisines, voici un tableau indiquant les diverses caractéristiques :

**Tableau 2 Comparaison UWB**

	<i>802.11b</i>	<i>802.11a</i>	<i>UWB</i>
<i>Portée (mètre)</i>	100	50	10
<i>Puissance (MHz)</i>	80	200	7500
<i>Donnée (Mbps)</i>	11	54	110

Source : (UbiSense, 2016)

Sa portée est moins importante mais offre une puissance plus grande que ces prédécesseurs. Cette solution est donc très prometteuse, mais nécessite encore quelques temps afin d'être standardisée.

## 1.9 Ultra Sound System

Les systèmes par ultrasons ou par infrarouge sont moins répandus. Ils ont comme principal désavantage d'avoir une portée courte et de ne pas traverser les murs. Deux types de systèmes existent :

- **Active Bat:** l'utilisateur est marqué avec un tag ultrasonique, appelé « bats », le signal est ensuite reçu par un grand nombre de récepteurs.
- **Cricket:** Des Beacons fixes transmettent périodiquement un message au récepteur utilisant ces informations pour déterminer la position.

Cette technologie fonctionne grâce aux échos générés par l'émetteur et mesurés par le récepteur. La différence du temps indique la distance. L'ultrason utilise principalement la méthode de triangulation pour calculer cette distance. Toutefois, ce qui est à soulever est le coût d'investissement qui reste relativement important. (M, A Comparative Analysis on indoor positioning Techniques and Systems, 2016)

Étant donné son coût important et qu'il nécessite une infrastructure qui n'est pas couramment utilisée, cette technologie ne sera pas utilisée.

#### 1.10 Infrarouge

Le positionnement par radiation infrarouge (IR) est l'un des plus communs concernant la technologie sans fil. Il est utilisé notamment pour la détection et le suivi d'objets ou de personnes. L'avantage d'un tel système est sa taille. En effet, il nécessite que très peu de place, cependant il connaît un manque de sécurité et peut avoir des problèmes d'interférence avec la lumière du soleil ou fluorescente (Zahid Farid, 2013).

Le principe de l'infrarouge est que les émissions sont identifiées par un capteur optique installé dans le récepteur de positionnement. La lumière ne pouvant pas passer à travers les murs, il ne peut communiquer seulement avec les objets en ligne de vue. Les deux principaux désavantages sont la distance de transmission et la courte distance de vue. (M, A Comparative Analysis on indoor positioning Techniques and Systems, 2016)

### 1.11 Champ magnétique

Les champs magnétiques sont naturellement présents dans un bâtiment. Il est possible de créer, tout comme pour le WLAN, une carte des différentes forces puis de se localiser grâce à cela. Cette technologie est extrêmement précise (entre un à deux mètres (Opusresearch, 2014)). (Hammerer, 2015) Ce serait une solution intéressante cependant elle serait plus difficile à implémenter et demanderait certainement plus de temps.

### 1.12 Hybride

Actuellement, il existe une des solutions réalisant un mix entre Wi-Fi et Bluetooth. Un bon nombre de solutions de marché à destination des smartphones se sont basé sur ce principe.

### 1.13 D'autres technologies

Nous pouvons relever que bien d'autres technologies sont présentes sur le marché.

Nous pouvons prendre l'exemple des **puces RFID** actives et passives qui paraissent très prometteuses. Permettant de tracer un objet grâce à cette simple puce collée à celui-ci, elles émettent des ondes radio permettant de lire le contenu sans contact. Il existe deux types de puces : les puces actives et passives. Les premières offrent une portée plus importante, mais coûtent plus chères et durent moins longtemps, tandis que les puces passives utilisent l'énergie du radio émetteur et sont évidemment moins chères et durent bien plus longtemps.

Il existe également les **puces NFC** fonctionnant de la même manière. Elles permettent différentes fonctionnalités comme le parcours dans un musée, l'automatisation d'une tâche ou la demande d'info dans un magasin. Cependant ce système est plutôt adapté à la micro-localisation et ne peut donc pas servir pour une portée supérieure à 10 cm. (Ballazhi, 2012)

D'autres systèmes existent comme les **signaux de la télévision** (signaux hertziens) permettant de se localiser grâce à la force du signal. CLIPS est un système optique (Camera and Laser based Indoor Positioning System) (Céline Teulière, 2014). Egalement le système ZigBee, un réseau personnel sans fil, a un faible cout d'achat et d'installation ainsi qu'une faible consommation. (ZigBee Alliance, 2016)

#### 1.14 Conclusion

En lien avec notre recherche et après avoir retracé ces différents éléments, nous pouvons en faire un bilan.

Tableau 3 Comparaison des différents systèmes de positionnement

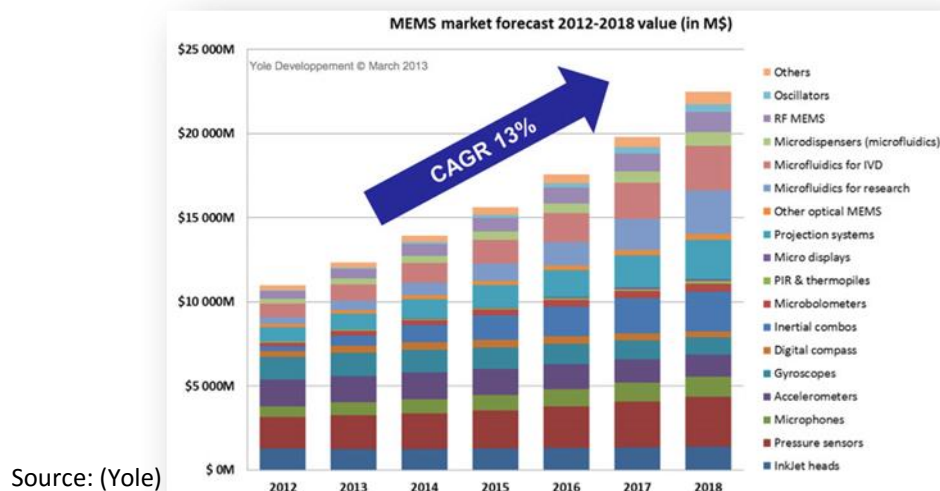
Systèmes	Précision (intérieur)	Principaux algorithmes	Couverture Extérieur/Intérieur	Traverse les murs?	Consommation d'énergie	Coût	Remarques
<b>A-GPS</b>	10-300m	ToA		Non	Haut	Haut	
<b>GPS</b>	6 m–10 m	ToA	✓ Mauvais	Non	Très haut	Haut	
<b>Infrarouge</b>	1 m-2 m	Proximity, ToA	✓ ✓	Non	Bas	Moyen	Détection dans un rayon faible, mais pas de multi-trajet
<b>Wi-Fi</b>	~5m	Proximity, ToA, TDoA, RSSI	Par étage seulement	Oui	Haut	Bas	La position peut être irrégulière lors des modifications
<b>Ultrason</b>	3 cm–1 m	ToA, AoA	✓	Non	Bas	Moyen	Sensible à l'environnement, pas de multi-trajet
<b>RFID</b>	1-2 m	Proximity, TOA, RSSI	✓	oui	Bas	Bas	Temps de réponse important
<b>Bluetooth</b>	2 m–5 m	RSSI	✓	Oui	Bas	Haut	Nécessite le Bluetooth et non compatible avec iPhone
<b>ZigBee</b>	3 m–5 m	RSSI	✓	Oui	Bas	Bas	
<b>FM</b>	2 m–4 m	RSSI	✓		Bas	Bas	Moins susceptible aux objets et le signal est fort

Le Wi-Fi est donc un élément indispensable dans la localisation étant donné qu'il est très courant. Cependant, nous pourrions envisager d'utiliser les ondes, le champ magnétique, le réseau cellulaire ou le champ magnétique également qui ont un coût relativement bas et qui ont tous leurs avantages comme nous pouvons le voir.

Malgré le fait qu'il soit intéressant de pouvoir utiliser autant de possibilités pour se localiser. Afin de réduire les coûts et de simplifier les reproductibilités, il serait judicieux d'utiliser les capteurs actuellement existant sur un smartphone afin de se localiser. De plus, afin de réaliser le prototype, nous avons décidé de partir sur une technologie permettant une précision suffisante et étant largement utilisée. Nous avons donc choisi d'implémenter le Wi-Fi pour le prototype.

Cependant, il est très probable que davantage de senseurs viennent se rajouter d'ici quelques années selon le schéma ci-dessous. Ce qui signifie qu'il y aura plus de possibilités et également plus de monde possédant des mobiles éventuellement compatibles avec l'utilisation de senseurs pour la localisation.

Figure 8 Prédiction du marché des MEMS jusqu'en 2018





Les MEMS (microsystème électromécanique), microsystèmes permettant une fonction de capteur de taille minuscule, deviennent de plus en plus importants sur le marché (voir figure 8). Selon EETimes les prochains senseurs disponibles sur smartphones pourraient être les senseurs de pression pour la navigation en intérieur. (Johnson, 2013) Ceux-ci pouvant être utilisés pour estimer l'étage dans lequel se situe l'utilisateur.

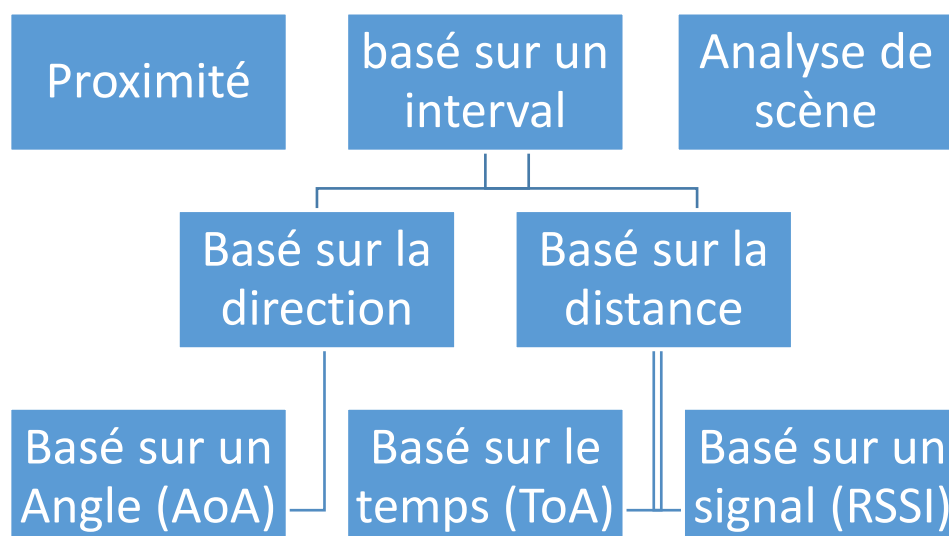
## 6. Les méthodes de localisation

Puisque nous recherchons à localiser un utilisateur à partir de données Wi-Fi prises par un robot, les différents algorithmes de détection seront dès lors comparés. Cela nous permettra d'obtenir des résultats de façon efficace.

Lors de l'utilisation d'ondes, il est possible que les ondes soient reflétées contre un mur. L'appareil peut ainsi recevoir différentes forces de signal. C'est également pour cela qu'un algorithme de filtrage est utilisé.

Différentes méthodes pour la localisation sans fil existent. Elles peuvent être divisées en trois groupes principaux : proximité, algorithmes basés sur un intervalle et analyse de scène. (Xiuyan Zhu, 2013).

Figure 9 Classification des catégories des solutions de localisation en intérieur



Source : (Xiuyan Zhu, 2013).

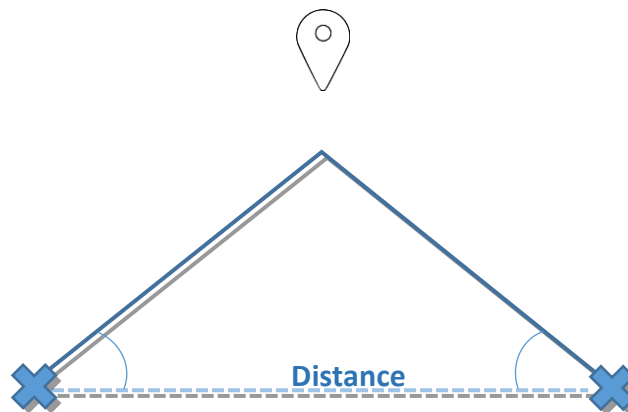
La première catégorie utilise principalement la relation géométrique entre le point d'accès à proximité pour estimer la localisation. Il ne nécessite que peu d'infrastructure. La précision est toutefois plus faible pour un environnement intérieur. C'est pourquoi cette catégorie ne va pas être utilisée.

La deuxième catégorie a une plus grande précision, un faible coût, mais peut nécessiter davantage d'infrastructures. Il se compose des différents algorithmes suivant :

### 3.1 Angle of Arrival (AOA)

Cette approche consiste à mesurer l'angle d'au moins deux points de référence. La position estimée correspond à l'intersection des deux lignes définies par les angles. Il n'est pas nécessaire d'avoir un temps de synchronisation entre les points de mesures. Il est cependant nécessaire d'avoir une infrastructure suffisante. (M, 2016)

Figure 10 Représentation du deux points d'accès et la position estimée



Source : Brice Barben

La triangulation estime la localisation en calculant les angles relatifs à de multiples points de référence. L'objet à localiser est utilisé comme point fixe d'un triangle. D'habitude AOA est utilisé pour mesurer les angles.

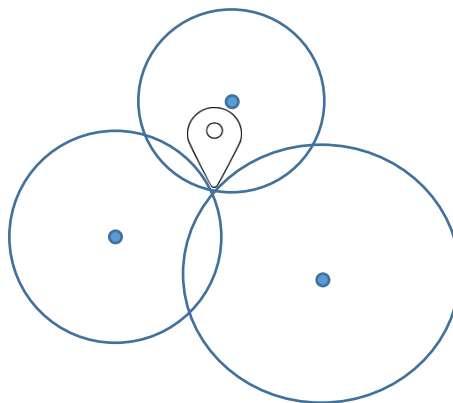
### 3.2 Time Based

#### 3.2.1 Time of Arrival (TOA)

Il s'agit ici du temps que prend un signal pour aller du mobile jusqu'au point d'accès. Cette distance est proportionnelle au temps de propagation. Cependant les récepteurs doivent être précisément synchronisés et il en faut au moins trois pour obtenir une localisation en 2D. Il a besoin d'au moins trois points afin de réaliser une latération pour un positionnement 2D. Il nécessite également que les transmetteurs et receveur soient synchronisés et que le signal inclut un timestamp (horodatage) pour évaluer correctement la distance. Si plus de trois points de référence sont disponible, l'algorithme moindres-carrés peut être utilisé pour minimiser l'erreur de localisation. (Ballazhi, 2012)

Par exemple, la trilatération estime la position en mesurant les distances de plusieurs points de référence. Ces points sont en principe les points d'accès. La distance est calculée en multipliant la rapidité du signal radio et le temps de parcours. TOA ou TDOA, que nous verrons ensuite, peuvent être utilisés pour ces mesures. (Ballazhi, 2012)

Figure 11 Représentation trois point d'accès et la position estimée au centre



Source : Brice Barben

### 3.2.2 Time Difference of Arrival (TDOA)

Détermine la position relative en examinant la différence de temps que mets le signal d'un émetteur pour arriver aux différents point d'accès. Ces récepteurs doivent être au moins trois et permettent de trouver un point d'intersection qui est le point de localisation estimé. Cependant cette méthode nécessite une référence précise dans le temps. Les propagations radio souffrent souvent d'un effet multi chemin affectant le temps du signal. (Ballazhi, 2012)

### 3.2.3 Received Signal Strength (RSS)

RSS représente la force du signal reçu. L'idée principale est d'établir une relation entre la force du signal provenant de plusieurs points de référence et la position actuelle du mobile. La position peut ensuite être trouvée à partir de trois points de référence. Plusieurs modèles ont été proposés pour traduire la différence entre la force du signal transmis et reçu. Il est préférable d'avoir une adaptation sur le site même afin de réduire les effets de trajets multiples ou de l'effet appelé « shadowing » à cause d'obstruction. (Ballazhi, 2012)

### 3.2.4 Analyse de scène

Ce type de système collecte d'abord les données d'un lieu et estime la localisation d'un objet en faisant correspondre les données apprises et les nouvelles données (Ballazhi, 2012). La force du signal est principalement utilisée dans l'analyse de scène. Cependant, ce signal peut subir principalement une diffraction, une réflexion ou une dissipation.

Figure 13 Schéma montrant le signal subissant une réflexion

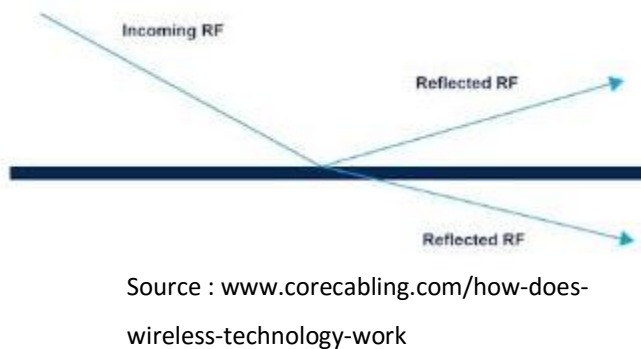
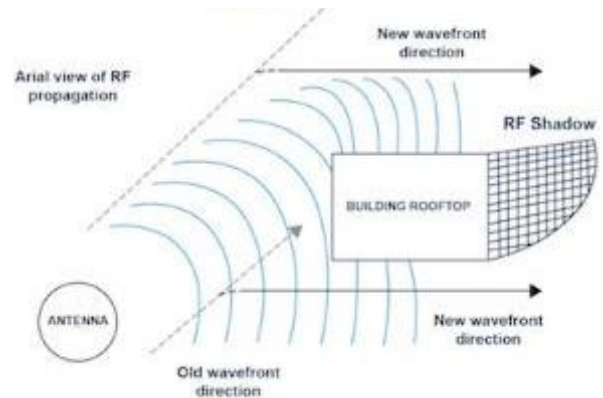


Figure 12 Schéma montrant une diffraction du signal



Durant la phase de calibration, la force du signal Wi-Fi est mesurée pour de multiples points d'accès. Les localisations de ces points sont alors notées. Lorsqu'un appareil doit être localisé, le smartphone compare la force de signal des points d'accès à proximité et les compare avec les données d'entraînement qui peuvent être soit déterministique ou probabilistique. Les algorithmes suivant peuvent donc être utilisés : k-nearest neighbour, neural networks, support vector machine (SVM), smallest M-vertex polygon (SMP) ou les méthodes probabilistes.

Par exemple, RedPin utilise cette technologie pour localiser le client. Cependant, la calibration nécessite beaucoup de travail et doit être répétée pour chaque espace ou nouvelle configuration de celui-ci. Il est susceptible à plusieurs interférences, à l'atténuation du signal ou au changement d'environnement qui se conclut par une précision faible (Wei Chen, 2016).

Le principal désavantage du fingerprinting est qu'il est nécessaire de créer un ensemble de données spécifiques du lieu comprenant les mesures prises (Anshul Rai, 2012).

### 3.2.5 Crowdsourcing

Une solution serait d'utiliser le crowdsourcing. Grâce à celui-ci, il est possible de réduire cet effort en permettant d'obtenir ses données d'apprentissage grâce aux utilisateurs.

Les senseurs présents dans les smartphones (accéléromètre, compas et gyroscope), localisent les utilisateurs au travers d'un environnement pendant que le Wi-Fi scanne les déplacements. Il dépend uniquement d'une carte dans laquelle se trouvent les chemins possibles et les obstacles. Les localisations sont ensuite déduites avec le temps

### 3.3 Le choix des algorithmes

Notre choix s'est porté sur une analyse de scène étant donné qu'il se prête parfaitement à la cartographie à l'aide d'un robot.

Les algorithmes basés sur un intervalle peuvent être utilisés en connaissant préalablement certaines données comme la position des points d'accès. Ce qui n'est pas nécessairement le cas pour notre projet étant donné que l'on cherche à simplifier ce processus.

Cependant le crowdsourcing pourrait être rajouté à cette implémentation afin d'optimiser la précision et de corriger les éventuelles changements qu'il pourrait y avoir dans l'environnement.

#### 3.3.1 Système de positionnement

Il existe une grande variété de système de positionnement. Deux catégories peuvent être distinguées : les systèmes fixes et mobiles. Seuls les systèmes mobiles seront traités dans la partie suivante puisqu'ils nous concernent plus particulièrement. Il existe par exemple :

## **FootSLAM**

Ce système utilise une centrale à inertie (IMU), composé principalement d'un accéléromètre et d'un compas, pour construire une carte en 2D du bâtiment sans avoir connaissance de sa structure du bâtiment. Plus le temps passé dans le bâtiment est important plus les informations seront précises. Une approche Pedestrian Dead Reckoning (PDR) est utilisée. Elle consiste à détecter et estimer les pas effectué par une personne ainsi qu'un compas estimant la direction. (Ballazhi, 2012)

## **Fischer's System**

Ce système combine l'ultrason et les senseurs embarqués à inertie, mais deux types d'erreurs apparaissent : les erreurs de compas et de distance. C'est pour cette raison que l'ultrason permet de les réduire. Une approche PDR est également utilisée. (Ballazhi, 2012)

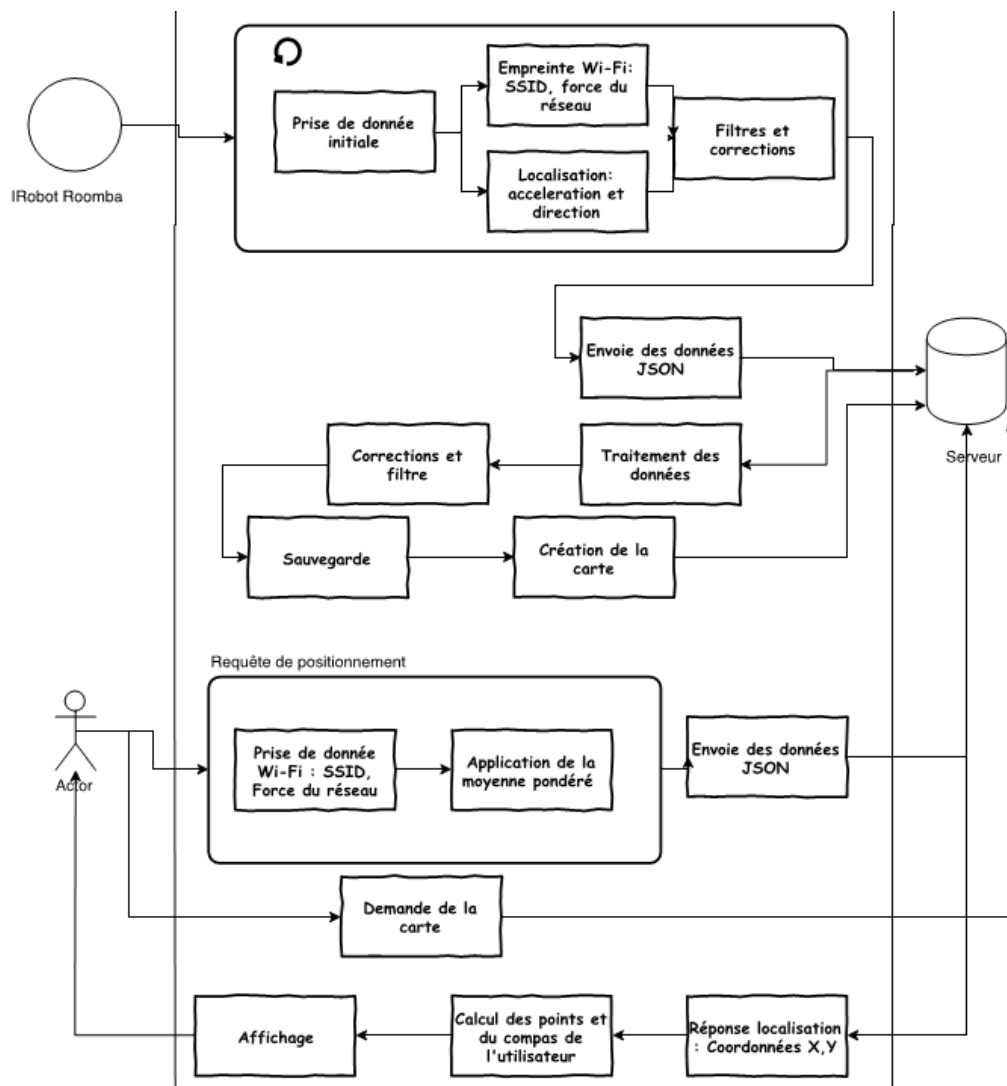
## **Bat system**

Il est une combinaison entre IMU, un model détaillé du bâtiment et un filtre pour obtenir une position précise. Une initialisation de l'algorithme de localisation avec la force du signal Wi-Fi. La position initiale et l'orientation de l'utilisateur est donc inconnue. Il est possible de déduire la position à un temps donné en connaissant son parcours. Notre système va donc s'inspirer de Bat System, bien que l'approche PDR sera utilisée à partir d'un robot et que la distance sera calculée à partir de l'accélération. (Ballazhi, 2012)

## 7. Prototype

Ce rapport s'accompagne d'un prototype de cartographie en intérieur. Il s'agit tout d'abord de réaliser la prise de donnée à l'aide d'un robot Roomba accompagné d'un Raspberry Pi. Le robot parcourt ainsi l'ensemble de la zone à cartographier de façon autonome. Les données récoltées seront ensuite envoyées au serveur, se chargeant de créer une carte des déplacements du robot puis d'accueillir les requêtes faites par la troisième partie de développement : l'application mobile. Cette dernière peut envoyer son empreinte Wi-Fi et recevoir la carte ainsi que sa position (voir figure 14).

Figure 14 Modèle simplifié du fonctionnement de l'ensemble du prototype



Source : Brice Barben



Les détails quant au développement de l'application et les aspects techniques seront décrits dans le chapitre suivant. En dernière partie, nous évaluerons les résultats puis ce prototype sera comparé et des pistes d'améliorations seront proposées.

## 7.1 Donnée et réalisation

Le prototype a pour but d'être Open Source et donc facilement reproductible et utilisable. Le robot Roomba et le Raspberry Pi ont donc été choisis pour leur faible coût et les grandes possibilités qu'ils offrent. Il est également de mise que le prototype devait être construit de manière à être reproductible facilement. C'est pour cela qu'il a fallu effectuer des choix afin d'obtenir des résultats pertinents.

Plusieurs idées en sont donc sorties, comme de se servir du compas et de l'accéléromètre déjà présents avec le GrovePi, présenté au point suivant ou l'ajout d'un capteur optique afin d'obtenir une cartographie précise. Le compas et l'accéléromètre ont donc été choisis afin de permettre de réaliser plus facilement un projet similaire et de pouvoir également s'adapter à tout autre type d'éventuel robot. De plus, l'ajout de capteur optique aurait demandé des modifications sur le robot. Ce projet peut donc être reproduit à moindre coût.

## 8. Environnement de développement

Avant le développement, il est nécessaire de choisir les bons outils et le bon langage sur lequel les applications seront développées. Aucune solution existante n'a pu être utilisée car trop éloignées des besoins.

Dans cette partie, nous allons brièvement expliquer les choix effectués pour les différentes plateformes.

### 8.1 Application client

Tout d'abord, du côté client, une application mobile est développée. Une application Web ne peut pas être utilisée puisqu'il n'est pas possible d'accéder aux fonctions du mobile comme la découverte du réseau (SSID et force du signal).

Une application hybride, fondée sur différents langages communs pour pouvoir déployé sur diverses plateformes, peut avoir accès à ses fonctions spécifiques, mais à travers des plugins et souvent disponibles pour un type de système opérateur (OS) seulement.

Le choix s'est donc porté sur une application afin d'accéder à toutes ces fonctions. L'environnement de développement intégré (IDE) Android Studio est utilisé car c'est l'un des plus adapté pour le développement d'application mobile Android.

## 8.2 Serveur

Du côté serveur, il existe également un grand choix de langages pouvant être utilisés. Le serveur n'a pas d'interface web, il propose seulement une API (interface de programmation applicative) pour communiquer avec l'application cliente. Étant donné que le but est de créer un outil Open Source et facilement reproductible, le langage Python a été choisis pour faciliter les échanges avec les senseurs sur le Raspberry étant particulièrement adapté pour ce langage.

Python, un langage libre, simple et léger, permet de créer un serveur en quelques lignes grâce à certain framework comme Flask(<http://flask.pocoo.org/>) qui est utilisé dans ce projet. Il est compatible sur de multiples plateformes et n'a ni besoin d'IDE, ni de compilateur. De plus, il existe un grand nombre de librairies disponibles que ce soit pour faire de l'asynchrone, du logging, du JSON, etc. Il existe notamment plusieurs exemples mis à disposition par le constructeur de la carte GrovePi (voir point 8.5).

### 8.3 Application Roomba

Figure 15 Le robot IRobot Roomba utilisé pour cartographier



Source : Brice Barben

Le robot d'expérimentation est un robot aspirateur de la société iRobot (voir figure 15). De la forme d'un disque, il possède un détecteur de collision à l'avant et différents capteurs infrarouge afin de se diriger et éviter les obstacles. La partie arrière possède un bac destiné initialement à la poussière, mais utilisé dans ce projet comme emplacement pour le Raspberry Pi, directement alimenté depuis le robot.

Il est couplé avec une carte Dexter Industries, GrovePi, permettant l'accès aux différents senseurs, un accéléromètre et un compas et détecte également si le robot est en marche ou non grâce à une entrée analogique.

Sur la page internet du constructeur, il existe un grand nombre d'exemple et de langages disponibles comme C, Go, Java, NodeJS, Python, Scratch, etc. Il existe également des librairies pour la plupart des senseurs existant pour Python.

## 8.4 Raspberry Pi 3

Le Raspberry (voir figure 16), petit ordinateur à basse consommation, est parfaitement adapté pour un projet embarqué comme celui-ci. Il offre une multitude de possibilité grâce à ses broches General Purpose Input/Output (GPIO) permettant par exemple de lire les états de senseurs ou comme pour ce travail y ajouter une carte complémentaire.

Figure 16 Raspberry Pi 3



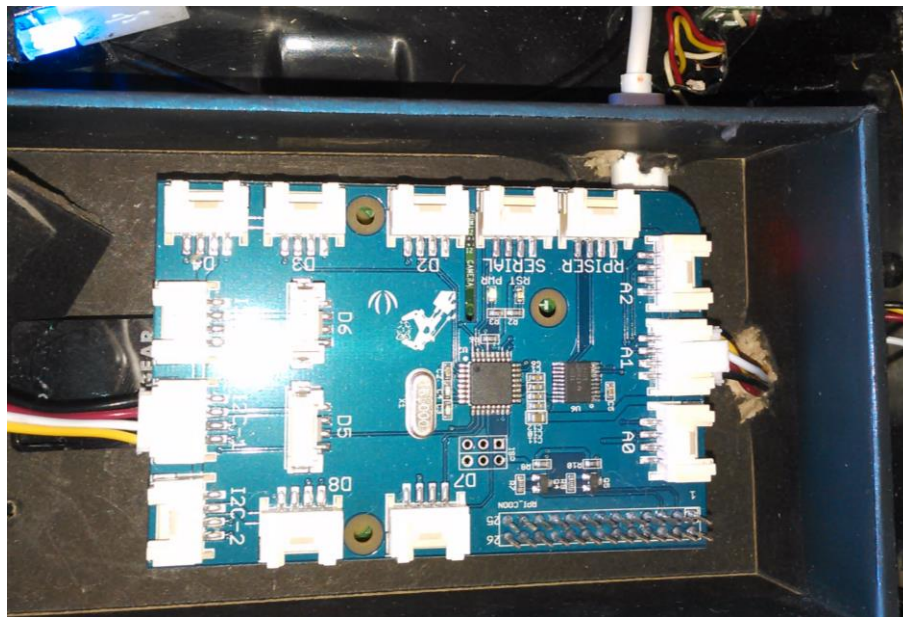
Source: [http://www.ittgroup.ee/939-thickbox\\_default/raspberry-pi-3-mudel-b.jpg](http://www.ittgroup.ee/939-thickbox_default/raspberry-pi-3-mudel-b.jpg)

Il offre la rapidité nécessaire grâce à son processeur 64 bit cadencé à 1.2 GHz et une carte Wi-Fi essentiel pour pouvoir scanner les points d'accès réseaux environnement. Cependant, Raspberry pi supporte seulement le réseau 2.4Ghz, ce qui empêche la détection des réseaux 5Ghz. Pour améliorer ce dernier, une clé Wi-Fi a donc été rajoutée avec support des bandes deux bandes (Raspberry). (Jacobm001, 2016)

## 8.5 GrovePi

GrovePi (figure 17) est une carte supplémentaire qui vient directement se brancher sur le Raspberry afin de pouvoir ajouter facilement des capteurs ou lire des données analogiques. Cette carte sert essentiellement de pont entre les senseurs et le Raspberry et permet également le futur développement et les améliorations à travers celle-ci.

Figure 17 GrovePi monté sur le Raspberry Pi 3 et relié au Roomba



Source : Brice Barben

## 9. Android

L'application est simple, elle est composée d'une seule activité (vue) et d'un bouton. Il permet de demander la localisation. Un rond bleu s'affichera alors à la position estimée. Au démarrage l'application charge la carte depuis le serveur. Celle-ci peut être déplacée dans l'écran afin d'avoir une meilleure visualisation. Une boussole au fond permet de s'aider à s'orienter.

Figure 18 Capture d'écran de l'application Android



Source : Brice Barben

À cause de l'environnement et d'autres facteurs, la force du signal peut varier bien que nous soyons sur le même emplacement. Il est donc très probable que différentes valeurs RSS soient perçues pour le même point d'accès à la même localisation. Afin de filtrer les données aberrantes et les rendre plus utilisables, nous avons opté pour un filtre d'une moyenne pondérée. Il est particulièrement souple et n'a pas besoin de beaucoup de calcul ce qui est particulièrement adapté pour cette situation. (Pei Jiang, 2015)

La classe *WifiScanner* réalise une prise des données des point d'accès environnent et effectue une moyenne pondérée sur un nombre de scan prédéfini. Cette liste est ensuite transformée en JSON afin d'être transmise au serveur.

Une classe (*ConnectionManager*) se charge de la connexion avec le serveur et plus précisément de l'envoi et de la réception des données de manière asynchrone. Tandis que la classe *MapManager* récupère la carte du bâtiment.

Les échanges de fichiers étant en JSON, nous avons décidé de les transformer en objet afin de faciliter la manipulation des données et d'éventuels changements.

Afin de séparer les éléments de manière claire, une classe *Compas* a été créée dans le but d'obtenir la direction dans laquelle l'utilisateur se trouve.

La carte est créée à partir de l'image Bitmap reçue du serveur. Un cercle dont la taille varie en fonction de la précision est ensuite dessiné au travers d'un Canevas qui permet une grande flexibilité au niveau du déplacement ou du zoom et étant également rapide afin de ne pas ralentir l'application.

## 10. Serveur

Le serveur s'occupe de la création du trajet effectué par le robot en se basant sur les deux senseurs embarqués. Le premier, l'accéléromètre, permet de connaître l'accélération linéaire de celui-ci et donc la vitesse. Le deuxième, le compas, concerne la direction. Avec ces deux données, il a été possible de reconstituer le trajet du robot et d'établir un ensemble de vecteurs sur des coordonnées X et Y. Ce système permet de visualiser le trajet afin d'avoir une meilleure appréciation des données prises et de pouvoir les corriger, mais également de pouvoir créer une carte virtuelle de l'ensemble des points. Ce qui permet de renvoyer, lors d'une demande de comparaison d'empreinte du client, ses coordonnées.

La formule suivante a été utilisée pour déterminer la position à partir de la précédente:

$$X = X_{origine} + r * \cos(\text{Sensor} * \pi/180)$$

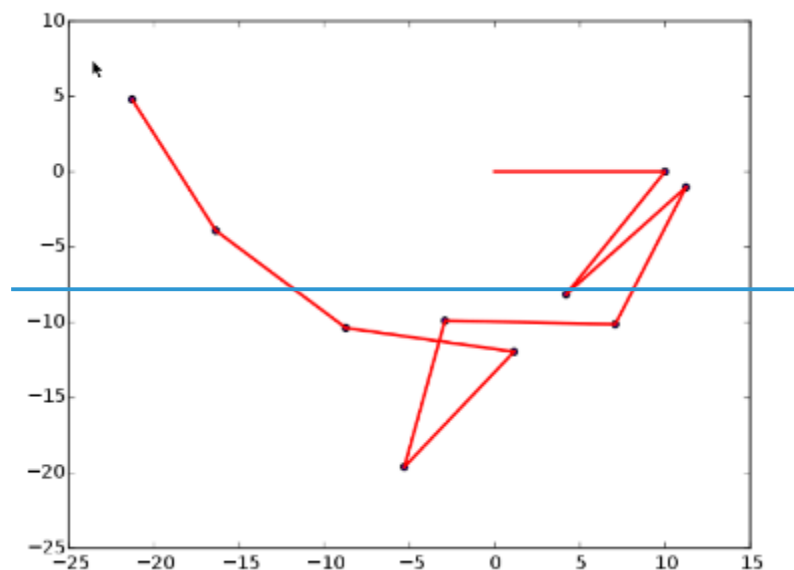
$$Y = Y_{origine} + r * \sin(\text{Sensor} * \pi/180)$$

$R$  est le rayon, c'est-à-dire la distance parcourue par le robot. Celle-ci a été calculée par l'accéléromètre du robot.  $X_{origine}$  et  $Y_{origine}$  sont les coordonnées précédentes.  $Sensor$  est l'angle mesuré et corrigé par le compas. Cette correction évite les anomalies ou erreurs d'angles.

Ensuite, le résultat de tous ces points peut être tracé sur un graphique. Matplotlib, librairie Python, a été utilisé sur Python afin de réaliser ceci et en extraire une image.

Les premiers résultats ont été surprenants. En effet, afin de tester l'exactitude du code, le robot a parcouru une ligne droite sur un sol lisse pour éviter les à-coups et les erreurs, cependant le graphique n'affichait rien de tel.

Figure 19 Parcours en ligne droite sans bouclier de champs magnétique



Source : Brice Barben

Nous pouvons donc observer que le capteur envoie une certaine quantité d'erreurs, mais également qu'elles se cumulent dans le temps. Après réflexion, il a été déduit qu'elles provenaient du capteur. Par la suite, des tests ont été effectués à l'arrêt afin

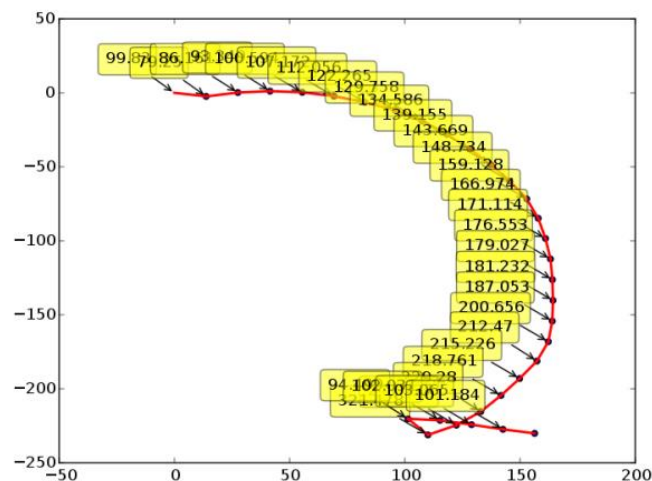


d'observer le phénomène. Le robot a ensuite été placé dans diverses positions pour observer l'influence sur le capteur. Finalement, nous sommes arrivés à la conclusion que la cause provenait du champ magnétique du robot lui-même. Il comporte une grosse batterie et des moteurs à proximité. Cette hypothèse a pu être vérifiée grâce un détecteur de champs magnétiques d'un smartphone.

Pour résoudre ceci, nous avons tout d'abord pensé à positionner le capteur en hauteur sur le Roomba afin de l'isoler. Toutefois, suite aux conseils de Monsieur Dominique Genoud, les capteurs ont été protégés grâce à de l'aluminium et du cuivre ce qui a été très efficace.

Nous avons aussi remarqué que le robot pouvait passer de 220° à 50° en faisant un tout petit mouvement de rotation à l'arrêt. Une rotation complète ne faisait pas exactement 360°. Nous avons donc réalisé un tour complet du robot afin de visualiser les données prises. Comme nous pouvons le voir sur le graphique suivant, le graphique forme un demi cercle.

Figure 20 Schéma représentatif du tour complet du robot



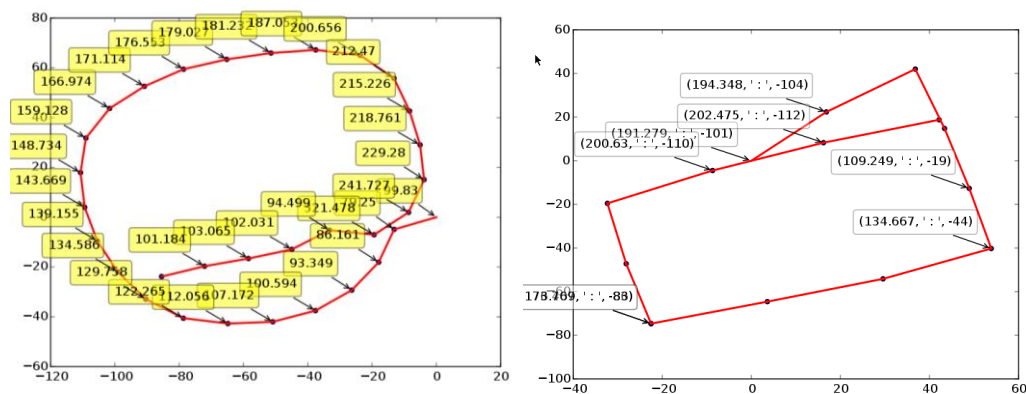
Source : Brice Barben

Les données ont donc été adaptées afin de les répartir sur un intervalle de 0 à 360. La formule suivante a donc été appliquée :

$$\text{heading} = (\text{heading} - \text{minValue}) * 360 / (\text{MaxValue} - \text{MinValue})$$

minValue et maxValue correspondent à l'angle minimum et maximum parmi les données. Des tests équivalents ont été effectués afin d'ajuster et confirmer cette hypothèse. Le résultat fut bien plus concluant, comme nous le voyons sur les tracés ci-dessous. Le trait plat à l'intérieur du cercle marque le début et la fin de la rotation le robot est resté immobile quelques secondes.

Figure 21 Tracés du chemin après correction de l'angle



Source : Brice Barben

## 10.1 Nearest Neighbors

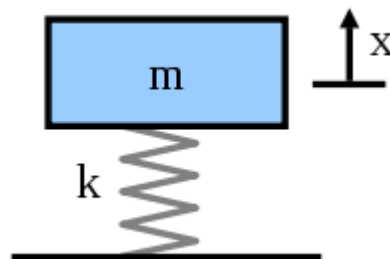
Nous utilisons Python combiné avec diverses librairies afin d'implémenter l'algorithme Nearest Neighbors. Cet algorithme tente de déterminer la position de l'utilisateur en fonction de la force du signal. Cette méthode est utilisée afin de trouver l'empreinte Wi-Fi du robot ayant la plus petite différence avec l'empreinte du mobile de l'utilisateur. Pour ce faire, le nombre de point d'accès découvert et la force du signal sont utilisés.

## 11. Roomba

Après plusieurs tests, les méthodes du robot ont été faites de façon à essayer de ralentir le moins possible l'exécution du programme. Par exemple, les données sont envoyées d'une fois que le robot est à l'arrêt et que la cartographie est terminée. Puisque cette tâche demande relativement plus de temps. Cela permet ainsi d'obtenir plus de d'enregistrement et donc une meilleure précision.

Le robot est équipé de deux senseurs placés sur le Raspberry lui permettant de créer un parcours et de pouvoir créer une carte par la suite. Ce parcours permet de faire correspondre l'empreinte Wi-Fi avec la position. Le premier senseur est un compas. Il permet de connaître la direction du robot. Le second est un accéléromètre. Il permet de connaître l'accélération linéaire du robot. Il peut être schématisé sous la forme suivante :

Figure 22 Fonctionnement de l'axe X de



Source : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Acc%C3%A9l%C3%A9rom%C3%A8tre>

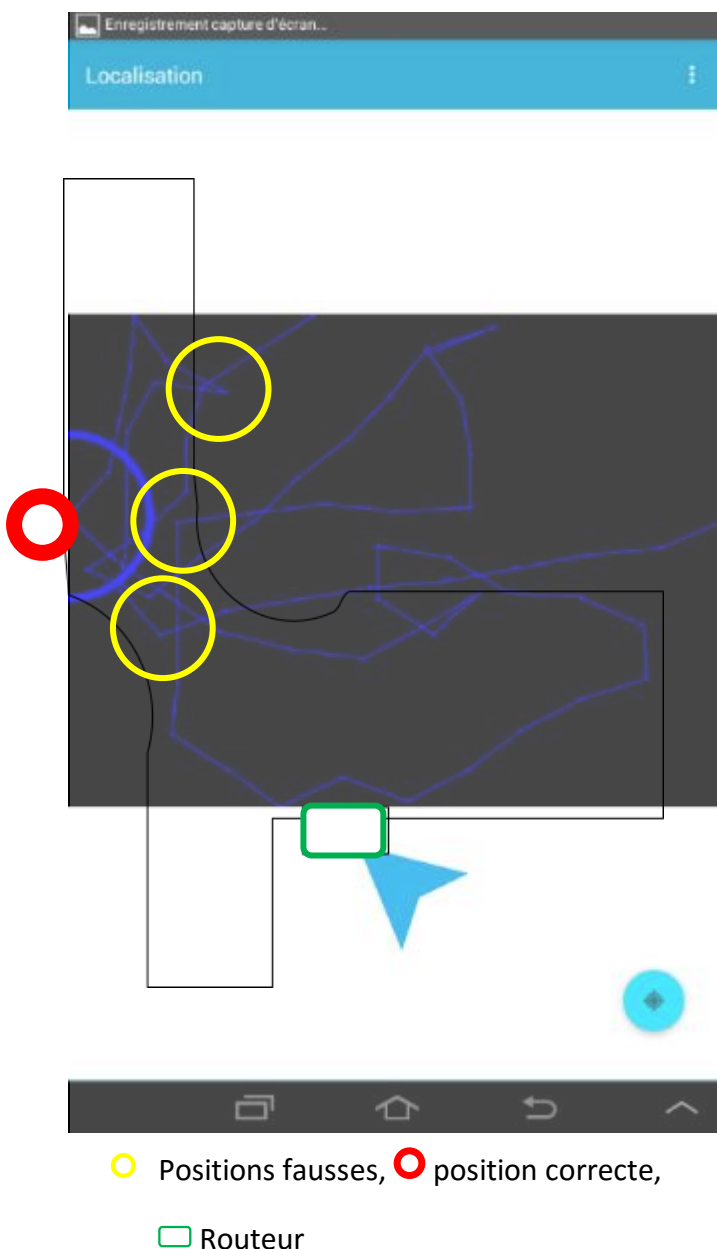
Il s'agit d'un système équivalent sur le senseur. À l'équilibre, la position de la masse  $X$  est égale à 0, c'est le point référence. S'il subit une accélération, cette masse va alors se comprimer vers le bas à cause de l'inertie de la masse  $m$ . La valeur de  $X$  varie donc en fonction de l'accélération appliquée.

Un même mécanisme est donc appliqué pour chaque axe ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) afin de pouvoir connaître l'accélération linéaire selon les trois axes orthogonaux. Le robot n'en utilise que deux puisqu'il cartographie des surfaces planes. L'axe  $Z$  n'a donc pas été utilisé. Ces accélérations permettent également d'estimer la vitesse du robot.

Étant donné que ce capteur calcule l'accélération, il est facile d'avoir des erreurs par exemple lors de secousses, c'est pour cela que des filtres ont été appliqués afin de les minimiser.

## 12. Résultat

Suivant le cahier des charges et durant le temps imparti, il a été possible d'obtenir une application Android récupérant la carte, les coordonnées et d'autres informations grâce à l'API du serveur. Ce serveur permet de se localiser à partir d'un scan Wi-Fi en utilisant divers algorithmes et de créer une carte à partir d'une accélération et d'un angle récolté grâce au robot Roomba. Le robot est capable de corriger et filtrer certaines erreurs de déplacement et d'enregistrer ces données en local avant de les envoyer sur le serveur.



En noir, le tracé de la zone cartographiée à l'aide du robot. Le carré vert est la position du routeur et les deux ronds jaunes sont les positions trouvées erronées (trois sur cinq). L'utilisateur se trouvait à la position marqué d'un rond rouge, tandis que le rond bleu marque la position estimée par le système. On remarque donc que le système est assez précis. Cela représente une précision d'environ 2 mètres. Ce résultat n'est pas obtenu à chaque essai car il arrive que le signal capté soit dévié par un mur ou n'importe quel objet, de plus la hauteur du smartphone n'est pas la même que celle du robot.

Il faudrait donc pour améliorer ce système, prendre davantage de mesures afin de s'assurer d'avoir une position exacte. De plus, des erreurs de cartographie sont présentes au niveau de ce tracé.

Cela est certainement dû à une erreur de calcul d'angle. Il a été remarqué, au niveau du compas, que les angles entre 90 et 220 degrés varient énormément et sont très peu stable. Pour améliorer cela, il faudrait peut-être éloigner le compas du robot avec d'éviter toutes perturbations.

## **13. Conclusion**

D'ordre général, le système en lui-même fonctionne. Il reste cependant encore beaucoup de travail afin de traiter tous les cas d'erreur de cartographie sur le robot Roomba, notamment au niveau des modèles qu'il utilise pour se déplacer. Au niveau du serveur, différents algorithmes peuvent être rajoutés, cependant il faudrait pouvoir le tester en condition réel dans un grand espace pour avoir une cartographie plus proche de la réalité.

### **13.1 Améliorations possibles**

Dans ce chapitre, nous présentons les différentes améliorations que nous pensons possibles pour le prototype.

#### **13.1.1 Roomba**

Tout d'abord, la cartographie peut être améliorée. Les mouvements du robot peuvent générer des erreurs. Par exemple, lorsqu'il rencontre un obstacle, il fait un mouvement d'avant en arrière qui crée parfois des fautes d'angles et de vitesse.

Dans le domaine de la robotique, des recherches ont été effectuées concernant le problème SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) : Un robot doit explorer l'environnement dans lequel il nécessite une localisation. Des repères sont insérés comme des codes-barres. Ces estimations sont basées sur un modèle action qui détermine la nouvelle localisation par rapport à l'ancienne. (Anshul Rai K. K., 2012)

Cette idée pourrait permettre de rendre les données plus fiables en enlevant les erreurs accumulées dans le temps. En effet, plus le robot fera de déplacements, plus d'erreurs de calculs d'angle ou de vitesse s'accumuleront pour avoir un plus grand risque de donner une position fausse.

Un système hybride combinant diverses technologies citées auparavant peuvent être utilisées pour améliorer la précision et la fiabilité des données.

La reconnaissance des mouvements à travers les capteurs peut être améliorée grâce à des nouveaux tests sur différents terrains pour reconnaître les erreurs, puis les éviter au maximum. Une méthode asynchrone pourrait peut-être améliorer la vitesse de prise de données en séparant les tâches.

Le processus de prise de données pourrait être optimisé. Lors du lancement du robot, le script pourrait se lancer automatiquement afin de ne pas avoir obligatoirement un ordinateur à proximité.

### **13.1.2 Serveur**

Une interface web serait également un point important. Comme expliqué auparavant, les différentes solutions existantes en proposent une. La fonctionnalité d'authentification pourrait être rajoutée pour davantage de sécurité.

Les algorithmes de cartographies peuvent être également améliorés grâce à différents tests sur le terrain. De plus, d'autres algorithmes peuvent être ajoutés afin d'avoir une meilleure précision. L'algorithme « Gaussian process » notamment pourrait être utilisé pour améliorer ceci (Brian Ferris, 2006). De plus, une interpolation entre les positions estimées peut être utilisée afin de connaître plus précisément la position de l'utilisateur.

Le serveur peut être complété en enrichissant son API. Il pourrait être possible de supprimer les données ou de créer des backups.

### 13.1.3 Application Android

Les données devraient être prises à plusieurs reprises pour une même requête de localisation, cela augmenterait beaucoup la précision. Nous avons remarqué qu'il était parfois nécessaire de scanner une ou deux fois les points d'accès avant d'obtenir la position correcte.

La carte peut être plus adaptative en ajoutant un zoom ce qui permettrait de visualiser plus facilement des grandes cartes. Nous pourrions également voir la possibilité de télécharger les données afin de se localiser sans se connecter au serveur.

Il est également possible d'améliorer le manque de précision de localisation grâce à des senseurs comme une boussole, un accéléromètre et un gyroscope afin de permettre de combler les trous de couverture réseau (Filippone, 2014). Ils permettraient de détecter les mouvements de l'utilisateur et détecter les déplacements.

Enfin, il est possible de coupler l'utilisation du Wi-Fi avec des balises Bluetooth (BLE) utilisées par exemple comme cela se fait au parc d'exposition de Paris. Cette combinaison de plusieurs technologies est souvent implémentée et permet d'améliorer non seulement la couverture réseau mais également la précision et la fiabilité de la localisation. Plusieurs solutions aujourd'hui combinent différents facteurs. (Filippone, 2014)



## **14. Conclusion personnelle**

Ce travail a été très intéressant, il a permis de découvrir de nouveaux éléments comme le langage Python et toutes ses possibilités, le JSON, les algorithmes mais encore la façon de travailler, de rechercher de l'information et de se fixer des objectifs en estimant les délais.

Il a aussi permis aussi d'avoir un aperçu de la réalisation d'un projet en partant des prémices. Cela fût très enrichissant de découvrir tout cela, de s'apercevoir qu'il faut parfois revenir en arrière pour pouvoir choisir une autre librairie ou un autre algorithme et pouvoir ainsi continuer d'avancer.

Il est vrai que j'ai choisi ce thème car il m'intéressait et m'apportait un certain challenge. Ce fût un réel plaisir de travailler sur ce thème, malgré le fait que le temps imparti était malheureusement trop court afin de réaliser ce projet de façon complète.

## 15. Bibliographie

- brian wang . (2015, 10 20). *Wi-fi trick for Indoor Location Fixes accurate to 40 centimeters*. Retrieved 06 3, 2016, from <http://nextbigfuture.com/2015/10/wi-fi-trick-for-indoor-location-fixes.html>
- ABI Research. (2015, 05 12). *Retail Indoor Location Market Breaks US\$10 Billion in 2020*. Retrieved 05 29, 2016, from ABI Research: <https://www.abiresearch.com/press/retail-indoor-location-market-breaks-us10-billion-/>
- Aboelmagd Nouredin, T. B. (2012). *Fundamentals of Inertial Navigation, Satellite-based Positioning and their Integration*. Springer Science & Business Media.
- AcuityBrands. (2016). *ByteLight Services: indoors Positioning*. Retrieved from AcuityBrands: <http://www.acuitybrands.com/solutions/services/bytelight-services-indoor-positioning>
- Andrei Popleteev, V. O. (2012, 01 27). *Investigation of indoor localization with ambient FM radio stations*. Retrieved 06 2, 2016, from arxiv: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1308/1308.1606.pdf>
- Angers, M. (1996). *Initiation pratique à la méthodologie des sciences humaines, deuxième édition*. Anjou: Les éditions CEC inc.
- Anshul Rai, K. K. (2012, 08). *Zee: Zero-Effort Crowdsourcing for Indoor Localization*. Retrieved from academia: [http://www.academia.edu/8045637/Zee\\_zero-effort\\_crowdsourcing\\_for\\_indoor\\_localization](http://www.academia.edu/8045637/Zee_zero-effort_crowdsourcing_for_indoor_localization)

- Anshul Rai, K. K. (2012, 08). *Zee: Zero-Effort Crowdsourcing for Indoor Localization*. Retrieved 06 2, 2016, from msr-waypoint: <http://msr-waypoint.com/pubs/166309/com273-chintalapudi.pdf>
- APA. (2010). *Publication Manual of the American Psychological Association, Sixth Edition*. Washington: Auteur.
- BAKBASEL. (2010). *Benchmarking du tourisme - Le secteur suisse du tourisme en comparaison internationale , Rapport de synthèse du "Programme de benchmarking international du tourisme suisse, mise à jour 2008 - 2009"*. Basel: BAK Basel Economics AG.
- Ballazhi, R. (2012). *Wireless Indoor Positioning Techniques*. Retrieved 06 3, 2016, from University of Zurich.
- Bolliger, P. (2008, 09 8). *Redpin - Adaptive, Zero-Configuration Indoor Localization*. Retrieved 06 1, 2016, from ETH zürich: <http://www.vs.inf.ethz.ch/publ/papers/bolligph-redpin2008.pdf>
- Boudreau, B. P. (1997). *Présentation et rédaction d'un travail de recherche, 2e édition, revue et augmentée*. (C. d. éducation, Ed.) Retrieved from <http://www.umoncton.ca/umcm-bibliotheque-crp/node/29>
- Brian Ferris, D. H. (2006, 10 16). *Gaussian Processes for Signal Strength-Based Location Estimation*. Retrieved from roboticsproceedings: <http://www.roboticsproceedings.org/rss02/p39.pdf>
- Céline Teulière, E. M. (2014, 07 8). *3D model-based tracking for UAV indoor localisation*. Retrieved 06 23, 2016, from Inria: <https://hal.inria.fr/hal-01020618/document>
- Cisco. (2016, 06 20). *Cisco Mobility Services Engine*. Retrieved from Cisco: <http://www.cisco.com/c/en/us/products/wireless/mobility-services-engine/index.html>

- commentcamarche. (2016, 07). *WiFi - Portée et débit*. Retrieved from commentcamarche:  
<http://www.commentcamarche.net/contents/1280-wifi-portee-et-debit>
- Connolly, P. (2015, 04 24). *Analysis: Twitter's investment in SWIRL*. Retrieved 05 29, 2016,  
from <https://www.abiresearch.com/blogs/analysis-twitters-investment-swirl/>
- Connolly, P. (2015, 04 25). *Analysis: Twitter's investment in SWIRL*. Retrieved 06 12, 2016,  
from ABI research: <https://www.abiresearch.com/blogs/analysis-twitters-investment-swirl/>
- Creurer, L. (n.d.). *Les technologies de géolocalisation indoor* . Retrieved 05 20, 2016, from  
<http://blog.clever-age.com/fr/2015/05/21/les-technologies-de-geolocalisation-indoor/>
- fiercemobileit. (2013, 10 16). *Apple Just One of Many Big Guns Entering \$4 Billion Indoor Location Market*. Retrieved 05 27, 2016, from <http://www.fiercemobileit.com/press-releases/apple-just-one-many-big-guns-entering-4-billion-indoor-location-market>
- Filippone, D. (2014, 01 20). *Géolocalisation indoor : comment ça marche ?* . Retrieved 5 25, 2016, from <http://www.journaldunet.com/solutions/mobilite/geolocalisation-indoor.shtml>
- Hammerer, J. (2015, 09 27). *VT2015 Geolocalisation Indoor*. Retrieved from AIR:  
[http://air.imag.fr/index.php/VT2015\\_Geolocalisation\\_Indoor](http://air.imag.fr/index.php/VT2015_Geolocalisation_Indoor)
- Hume-Pratuch, J. (2012, 05 31). *A Prescription for Success: How to Cite Product Information in APA Style*. Retrieved from <http://blog.apastyle.org/apastyle/2012/05/how-to-cite-product-inserts-in-apa-style.html>
- Jacobm001. (2016, 2 29). *Does Pi3 Wi-Fi support 5 GHz and does it need an extra antenna?*  
Retrieved from StackExchange:  
<http://raspberrypi.stackexchange.com/questions/43306/does-pi3-wi-fi-support-5-ghz-and-does-it-need-an-extra-antenna>

- Johnson, R. C. (2013, 08 11). *MEMS Market to Top \$22 billion by 2018*. Retrieved 06 9, 2016, from EETimes: [http://www.eetimes.com/document.asp?doc\\_id=1320035](http://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1320035)
- López Escobés, P. (2009, 12). *Summary of the State of the Art in indoor location systems*. Retrieved 5 20, 2016, from GSIC-EMIC: [https://wikis.gsic.uva.es/juaase/images/2/23/State\\_of\\_the\\_Art\\_Pablo.pdf](https://wikis.gsic.uva.es/juaase/images/2/23/State_of_the_Art_Pablo.pdf)
- M, A. D. (2013, 04). *International journal of engineering research and applications*. Retrieved 6 2, 2016, from A Comparative Analysis on indoor positioning Techniques and Systems: [http://www.ijera.com/papers/Vol3\\_issue2/KF3217901796.pdf](http://www.ijera.com/papers/Vol3_issue2/KF3217901796.pdf)
- M, A. D. (2016, 06 5). *A Comparative Analysis on indoor positioning Techniques and Systems*. Retrieved from ijera: [http://www.ijera.com/papers/Vol3\\_issue2/KF3217901796.pdf](http://www.ijera.com/papers/Vol3_issue2/KF3217901796.pdf)
- Opusresearch. (2014, 06). *Magnetic Positioning*. Retrieved from indooratlas: [https://www.indooratlas.com/wp-content/uploads/2016/03/magnetic\\_positioning\\_opus\\_jun2014.pdf](https://www.indooratlas.com/wp-content/uploads/2016/03/magnetic_positioning_opus_jun2014.pdf)
- OWL. (2012). *APA Style - In-Text Citations : Author/Authors*. Retrieved from <http://owl.english.purdue.edu/owl/resource/560/03/>
- Pablo, L. E. (2009, 12). *Summary of the State of the Art in indoor location systems*. Consulté le 6 20, 2016, sur Grupo de Sistemas Inteligentes y Cooperativos: [https://wikis.gsic.uva.es/juaase/images/2/23/State\\_of\\_the\\_Art\\_Pablo.pdf](https://wikis.gsic.uva.es/juaase/images/2/23/State_of_the_Art_Pablo.pdf)
- Pei Jiang, Y. Z. (2015). *Indoor Mobile Localization Based on Wi-Fi Fingerprint's Important Access Point*. Retrieved from Hindawi Publishing Corporation: <http://www.hindawi.com/journals/ijdsn/2015/429104/>
- Philipp Bolliger, K. P. (2009). *Improving Location Fingerprinting through Motion Detection and Asynchronous Interval Labeling*. Retrieved from Publications of the Distributed Systems Group: <http://www.vs.inf.ethz.ch/publ/papers/bolliger-loca09.pdf>

- Philipp, B. (2008, 09 8). *Redpin - Adaptive, Zero-Configuration Indoor Localization through User Collaboration*. Retrieved 05 30, 2016, from ETH Zürich:  
<http://www.vs.inf.ethz.ch/publ/papers/bolligph-redpin2008.pdf>
- placelab. (2016). *placelab*. Retrieved from placelab: <https://www.placelab.com/>
- Raspberry. (n.d.). *Raspberry Pi 3 Model B*. Retrieved 07 3, 2016, from raspberry:  
<https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>
- Redpin. (n.d.). *What is Redpin?* Retrieved 6 4, 2016, from Redpin: <http://redpin.org/>
- Senion. (n.d.). *What is Indoor Positioning Systems?* Retrieved 06 28, 2016, from  
<https://senionlab.com/indoor-positioning-system/>
- sensewhere. (2016). *sensewhere*. Retrieved from sensewhere:  
<http://www.sensewhere.com/>
- Shahriar Nirjon, J. L. (2014, 12 14). *COIN-GPS: Indoor Localization from Direct GPS Receiving*. Retrieved 06 09, 2016, from Microsoft: <http://research.microsoft.com/en-US/people/liuj/coingps-release.pdf>
- Tourisme Québec. (2007). *Une analyse quantitative de l'évolution des voyages internationaux des Américains entre 1995 et 2005*. Retrieved from  
<http://www.tourisme.gouv.qc.ca/publications/publication.asp?id=13&categorie=60>
- UbiSense. (2016, 06 6). *How it works*. Retrieved from UbiSense:  
<http://www.ubisense.net/content/14.html>
- Veljo Otsason, A. V. (n.d.). *Accurate GSM Indoor Localization*. Retrieved 05 23, 2016, from  
University of Washington:  
<https://homes.cs.washington.edu/~lamarca/pubs/ubicomp.pdf>
- wang, b. (2015, 09 20). *Wi-fi trick for Indoor Location Fixes accurate to 40 centimeters*. Retrieved 06 6, 2016, from nextbig future: <http://nextbigfuture.com/2015/10/wi-fi-trick-for-indoor-location-fixes.html>

- Wei Chen, W. W. (2016, 03 16). *A Crowd-Sourcing Indoor Localization Algorithm via Optical Camera on a Smartphone Assisted by Wi-Fi Fingerprint RSSI*. Retrieved from <http://www.mdpi.com/1424-8220/16/3/410/pdf>
- Wikipédia. (2016, 06 5). *Système de positionnement en intérieur*. Retrieved 06 07, 2016, from [https://fr.wikipedia.org/wiki/Syst%C3%A8me\\_de\\_positionnement\\_en\\_int%C3%A9rieur](https://fr.wikipedia.org/wiki/Syst%C3%A8me_de_positionnement_en_int%C3%A9rieur)
- Wikipédia. (n.d.). *ping (logiciel)*. Retrieved 5 12, 2016, from [https://fr.wikipedia.org/wiki/Ping\\_%28logiciel%29](https://fr.wikipedia.org/wiki/Ping_%28logiciel%29)
- Wikipédia. (n.d.). *Trilatération*. Retrieved 5 12, 2016, from <https://fr.wikipedia.org/wiki/Trilat%C3%A9ration>
- Xiuyan Zhu, Y. F. (2013). *RSSI-based Algorithm for Indoor Localization*. Retrieved 06 4, 2016, from Scientific Reasearch: [http://file.scirp.org/pdf/CN\\_2013071010352139.pdf](http://file.scirp.org/pdf/CN_2013071010352139.pdf)
- Yole. (n.d.). *MEMS*. Retrieved from Yole: <http://www.yole.fr/2014-gallery-MEMS.aspx>
- Zahid Farid, R. N. (2013, 05 17). *Recent Advances in Wireless Indoor Localization Techniques and System*. Retrieved 06 01, 2016, from <http://www.hindawi.com/journals/jcnc/2013/185138/>
- ZigBee Alliance. (2016). *ZigBee Alliance*. Retrieved from ZigBee Alliance: <http://www.zigbee.org/>

## 16. Déclaration de l'auteur

« Je déclare, par ce document, que j'ai effectué le travail de Bachelor ci-annexé seul, sans autre aide que celles dûment signalées dans les références, et que je n'ai utilisé que les sources expressément mentionnées. Je ne donnerai aucune copie de ce rapport à un tiers sans l'autorisation conjointe du RF et du professeur chargé du suivi du travail de Bachelor, y compris au partenaire de recherche appliquée avec lequel j'ai collaboré, à l'exception des personnes qui m'ont fourni les principales informations nécessaires à la rédaction de ce travail et que je cite ci-après :

- Monsieur Dominique Genoud, professeur à la HES-SO Valais
- Monsieur Antoine Widmer, professeur à la HES-SO Valais »

Sierre, le 21 juillet 2016

Brice Barben



**Annexe 1 : Journal de travail**

Date	Description	Heures
26.04.2016	Première rencontre le 26 avril afin de prendre connaissance du sujet de mon travail de bachelor.	1
27.04.2016	Recherche sur le thème en général	5
28.04.2016	Recherche sur les différentes technologies existantes	4
29.04.2016	Préparation des documents demandés et mise en place de l'environnement de développement	7
2.05.2016	Essai de la table des matières et recherches	5
3.05.2016	Recherche sur les différentes technologies existantes	7
4.05.2016	Je prends connaissance d'un robot prototype créé par la HES afin de voir comment le robot et le programme ont été conçus.	6
5.05.2016	Recherche de l'état de l'art et conception de mon cahier des charges	7
9.05.2016	Prise en main du robot Roomba et recherche sur les technologies existantes.	6
11.05.2016	Début de l'écrit et recherche sur la localisation indoor en général	8
12.05.2016	Travail sur les différentes technologies existantes, création d'un tableau récapitulatif	7
15.05.2016	Recherches général	7
18.05.2016	Recherche de concurrents afin d'établir l'état de l'art	6
19.05.2016	Recherche d'algorithme de localisation	7
23.05.2016	Recherche des différentes entreprises présentes sur le marché et établissement d'une comparaison entre ceux-ci	6
24.05.2016	Recherche des algorithmes existants et prise de connaissance du code en prenant connaissance de PHP	8

27.05.2016	Exemple de solution pour chaque type d'algorithmes et recherche de différents algorithmes	8
30.05.2016	Recherche des entreprises existantes et ajouts dans le tableau récapitulatif	6
31.05.2016	Mise en page du TB	6
1.06.2016	Recherche des différents algorithmes existants	8
2.06.2016	Recherche des différents algorithmes existants et modèles	5
06.06.2016	Mise au propre des technologies existantes et rajout de complément. Recherche sur les différentes technologies existantes	6
07/06/2016	Mise en page du TB	7
09/06/2016	Résumer de l'analyse des entreprises existantes	7
13/06/2016	Recherche des différents algorithmes existants	8
14/06/2016	Recherche des projets existant sur le sujet	7
15/06/2016	Début du développement : réalisation de l'envoi de donnée sur le serveur	8
16/06/2016	Recherche sur les technologies existantes et réalisation de codes	7
17/06/2016	Réalisation de Post du le serveur et mis en forme du dictionnaire JSON	8
19/06/2016	Recherche sur les problèmes de mesures du compas	6
20/06/2016	contrôle de la formule mathématique pour le compas et amélioration du code du serveur	7
21/06/2016	Début du développement de l'application Android	5
22/06/2016	L'application scan des Wifi et effectue un POST des données sur le serveur	6
25/06/2016	Ajout de fonctionnalités sur l'application Android: Gson	7
26/06/2016	Ajout de la localisation sur l'application Android ainsi que le compas	5
27/06/2016	Prise de mesures du Roomba et ajout de méthodes de correction et calcul du compas	6

28/06/2016	Recherche sur les différents moyens de réaliser l'algorithme de localisation	7
29/06/2016	Création de l'algorithme permettant de trouver la position en fonction de données wifi	6
30/06/2016	Amélioration de la précision des prises de données wifi	7
04/07/2016	Organisation des idées du rapport et ajout de certains chapitres	6
05/07/2016	Amélioration du rapport en continuant d'écrire certaines parties	6
06/07/2016	Ecriture du rapport sur la partie de développement	6
07/07/2016	Correction et écriture des conclusions pour chaque partie du rapport	7
08/07/2016	Réalisation de la nouvelle méthode de localisation	7
10/07/2016	Ajout de corrections et réalisation de schémas et partie développement	6
12/07/2016	Mise en place de la communication entre serveur, application et Roomba. Corrections de bugs et corrections des données	7
15/07/2016	Correction des derniers bugs des applications	7
16/07/2016	Tests des robots et des applications	7
17/07/2016	Réalisation de la partie écrite	6
18/07/2016	Réalisation des derniers chapitres sur l'écrit	7
19/07/2016	Test du robot afin d'obtenir des résultats et corrections de méthodes	8
20/07/2016	Finalisation de la rédaction du travail de Bachelor et test des résultats du robot	7
21/07/2016	Finalisation de la rédaction du travail de Bachelor	7
22/07/2016	Finalisation de la rédaction du travail de Bachelor	8
23/07/2016	Finalisation de la rédaction du travail de Bachelor	7
24/07/2016	Impression, reliure et gravure. Préparation des documents en annexe	6

## Annexe 2 : Tableau des entreprises existantes

Name	iOS	Android	WP7	Wifi	Cell	Bluetooth	Other	Optical	Audio	Inertial	Compass	Baromete	External	CrowdSo	Fingerprinti	Trilateratio	API	Precision	Pricing
9Solutions																			
AINSI																			
AIONAV Systems Ltd			Wind							MEMS									
Apple																			
Broadcom																			
ByteLight / Geometri.io								Visible											
Combain																		40-50m	
SIRFusion (CSR)							MEMS,											5m	
ecived																		5 cm	
Ekahau																			
Fraunhofer																			
Glopos																		7.7 - 12.5 m	
Google																			Free
HW Communications Ltd																			
Indoo.rs																		95% under 5	
Indoor Atlas																		0.1m - 2m	
Insiteo																		<2m	
iWay																			
Lighthouse Signal																		5-7 m	
Locata																			
Loctronix																		"meter-level"	
Microsoft																			
Accuware (Navizon)																		"room-level"	Monthly:
RetailNext (NearBuy)																		< 1m	
NextNav																		20 m	
Nokia																			
Pointr																		1-3 m	
Pole Star																		2-5 m	
Qbengo																			
Qubulus																		< 1 m	
Redpin																	SDK	free	
senionlab																			
sensewhere																		<10m	
Shopkick																			
Skyhook																			
Teldio																			
Tesco																			
Trueposition							le signal												
WalkBase																			
Wifarer																			
WIFISLAM*																		2.5m	
Wilocate																			
Y-Find																			
ZuluTime																			
Site fermé ou ne correspondant pas																			

Source: <https://docs.google.com/spreadsheets/d/1NgoJHndqAj8VWd9LQ89UDEsR59OMVecUwdl10rKul0/edit#gid=1>

Name	Website	Description	navigatio	capteur	Dashboar	Feature	Installatio	import
9Solutions	<a href="http://9solutions.com">9solutions.com</a>				yes	Specific		
AINSI	<a href="http://ainsi.pro">ainsi.pro</a>	Positioning for lone workers			non	Librairie	Développe	manuel
AIONAV Systems Ltd	<a href="http://www.aionav.com/">http://www.aionav.com/</a>	Precise positioning in 3D	oui	tous	oui	dead	Télécharge	manuel
Apple	<a href="http://techcrunch.com/2013/03/24/">http://techcrunch.com/2013/03/24/</a>	Acquired WIFISLAM, March						
Broadcom	<a href="http://www.broadcom.com/produ">http://www.broadcom.com/produ</a>	BCM4732 does indoor						
ByteLight / Geometri.io	<a href="http://bytelight.com / geometri.io">http://bytelight.com / geometri.io</a>	Uses LED lights and	oui	Light	oui	API	Subscribe.	Light /
Combain	<a href="http://www.combain.se/">http://www.combain.se/</a>	cell and Wi-Fi triangulation				API	Cela	
SIRFusion (CSR)	<a href="http://csr.com">csr.com</a>	SIRFstarV sensor fusion		existants		Library,		manuel
ecived	<a href="http://www.ecived.com/product">http://www.ecived.com/product</a>							
Ekahau	<a href="http://www.ekahau.com/">http://www.ekahau.com/</a>	old school Wi-Fi signal						
Fraunhofer	<a href="http://www.fraunhofer.de/en/pre">http://www.fraunhofer.de/en/pre</a>	sensorfusion pedometer						
Glopos	<a href="http://www.glopos.com/">http://www.glopos.com/</a>			existants				
Google	<a href="http://maps.google.com">http://maps.google.com</a>	Part of Google Maps for						
HW Communications Ltd	<a href="http://www.hwcomms.com/">http://www.hwcomms.com/</a>							
Indoo.rs	<a href="http://indoo.rs/">http://indoo.rs/</a>	Wi-Fi fingerprinting, in app	oui		indoo.rs			
Indoor Atlas	<a href="http://www.indooratlas.com/">http://www.indooratlas.com/</a>	Geomagnetic Indoor						
Insiteo	<a href="http://www.insiteo.com/?lang=en">http://www.insiteo.com/?lang=en</a>	Insiteo provides accurate						
iWay	<a href="http://www.iway.nl/">http://www.iway.nl/</a>							
Lighthouse Signal	<a href="http://lighthouseignal.com/">http://lighthouseignal.com/</a>	Wifi fingerprinting						
Locata	<a href="http://locatacorp.com">locatacorp.com</a>	Terrestrial GPS-like						
Loctronix	<a href="http://loctronix.com/">loctronix.com/</a>	Mobile Explorer Platform for						
Microsoft	<a href="http://research.microsoft.com/en-">http://research.microsoft.com/en-</a>	reminder on their old RADAR						
Accuware (Navizon)	<a href="https://www.accuware.com/">https://www.accuware.com/</a>	Navizon One: crowdsourced			online	Analytics,	plug each	manuel
RetailNext (NearBuy)	<a href="http://retailnext.net">retailnext.net</a>	Real-time location information						
NextNav	<a href="http://nextnav.com/">nextnav.com/</a>	Terrestrial GPS-like						
Nokia	<a href="http://research.nokia.com/news/9">http://research.nokia.com/news/9</a>	"High-accuracy indoor						
Pointr	<a href="http://www.pointrlabs.com/">http://www.pointrlabs.com/</a>	Real time true location using					placement	
Pole Star	-	Positioning by combining						
Qbengo	<a href="http://qbengo.com">qbengo.com</a>		4					
Qubulus	<a href="http://qubulus.com">qubulus.com</a>	XYZ, based on radio						
Redpin	<a href="http://redpin.org">redpin.org</a>	Wi-Fi triangulation open			non	SDK	Installer le	manuel
senionlab	<a href="http://senionlab.com">senionlab.com</a>	pedestrian indoor navigation	oui					
sensewhere	<a href="http://sensewhere.com">sensewhere.com</a>	crowd-sources and cross-	oui			sdk,	utilise la	
Shopkick	<a href="http://shopkick.com">shopkick.com</a>	Places audio transmitters in						
Skyhook	<a href="http://www.skyhookwireless.co">http://www.skyhookwireless.co</a>	cell plus Wi-Fi triangulation						
Teldio	<a href="http://www.teldio.com/zonith/ind">http://www.teldio.com/zonith/ind</a>	BT-based indoor positioning						
Tesco	<a href="http://techfortesco.blogspot.com/">http://techfortesco.blogspot.com/</a>	Wi-Fi based in app stoe						
Trueposition	<a href="http://trueposition.com">http://trueposition.com</a>	Acquired Rosum for TV-						
WalkBase	<a href="http://walkbase.com/">http://walkbase.com/</a>	Focused on providing			real-time	API et SDK	deploymen	
Wifarer	<a href="http://www.wifarer.com/">http://www.wifarer.com/</a>	Wi-Fi based in app			CMS	SDKs	Installer	
WIFISLAM*	<a href="http://wifislam.com/">http://wifislam.com/</a>	Wi-Fi fingerprint solution						
Wilocate	<a href="http://www.wilocate.net/">http://www.wilocate.net/</a>	Wi-Fi triangulation in app						
Y-Find	<a href="http://y-find.com/">http://y-find.com/</a>	Wi-Fi based in app						
ZuluTime	<a href="http://www.zulutimecorp.com/">http://www.zulutimecorp.com/</a>	Wi-Fi positioning based on						
Site fermé ou ne correspondant pas	Se rapproche du projet							

Source: <https://docs.google.com/spreadsheets/d/1NgoJHndqAj8VWd9LQ89UDEsR59OMVecUwdl10rKul0/edit#gid=1>

## Annexe 3 : Planification

Sprint	Date	Thème	Tâches	Story points	Réalisé	Différence
1	03/05/2016 au 31/05/2016	Rapport	Première réalisation du TB	6	5	1
		Rapport	Recherche des algorithmes	6	5	1
		Rapport	Résumer des entreprises existantes	16	20	-4
		Recherche	Recherche sur les technologies existantes	5	6	-1
		Recherche	Création d'un tableau récapitulatif	10	11	-1
		Recherche	Recherche sur la localisation indoor en général	12	12	0
		Recherche	Recherche d'algorithme de localisation	3	5	-2
2	01/06/2016 au 15/06/2016	Rapport	Ecrit de la partie des technologies existantes	8	6	2
		Rapport	Recherche	7	7	0
		Roomba	Envoi de donnée sur le serveur et transferts de données	10	10	0
		Recherche	Recherche sur l'implémentation, établissement d'un diagramme	10	12	-2
		Roomba	Définir les méthodes nécessaires	6	5	1
3	16/06/2016 au 30/06/2016	Application Android	Ajout de la localisation sur l'application Android	5	5	0
		Application Android	Ajout de divers fonctionnalités sur Android	6	6	0
		Roomba	Schéma du processus	7	6	1
		Roomba	Filtrer les données	8	7	1
		Roomba	Algorithmes de recherche	8	9	-1
		Roomba	Echange de fichier	5	5	0
		Server	API	5	5	0

4	04/07/2016 au 25/07/2016	Server	Méthodes de calcul	6	4	2
		Server	Echange de données	7	7	0
		Application Android	Ajout de fonctionnalités	12	11	1
		Rapport	Ecriture du rapport sur la partie de développement	8	7	1
		Rapport	Ecriture des conclusions pour chaque partie du rapport	8	8	0
		Rapport	Correction et finalisation	6	6	0
		Roomba	Résultats et test	6	6	0
		Roomba	Correction de bugs et amélioration du code	5	6	-1
		Server	Realisation des derniers points manquant	8	9	-1
		Server	Correction de bugs et amélioration du code	7	7	0
		Tutoriel	Réalisation du tutoriel	3	3	0

**Echelle****story****points:**

1 à 3 : tâche simple, 4 à 6 tâche impliquant un temps de travail moyen, 7 à 10 : tâche importante (test à établir et nécessite des changements sur d'autre plateforme si dev.) , 11 à 15 tâche demandant beaucoup de temps et dont il faut des connaissances à acquérir

## **Annexe 5 : Cahier des charges**

- Introduction sur la localisation en intérieur (Généralité et explications du fonctionnement)
- Les utilisations grâce à cette technologie (Géolocalisation, micro localisation, Geofencing)
- L'état actuel de la cartographie à l'intérieur de bâtiments avec des moyens mobiles (comparaison de ce qui existe sur le marché, points négatifs/positifs business model, infrastructures, etc.)
- Les technologies utilisées (wifi, Bluetooth, champs magnétique, lumière, hybride, etc.) avec une comparaison
- Les méthodes de cartographie utilisées (algorithmes)
- Développement d'un prototype